

Niko Huupponen

# UUDEN PURISTUSJAUHATUS- MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

KID- ja levyjauhatuksen yhdistäminen

Opinnäytetyö  
Prosessitekniikan koulutus

2018



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Niko Huupponen	Prosessitekniikka Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b>  Uuden puristusjauhatusmenetelmän kehittäminen; KID- ja levyjauhatuksen yhdistäminen		36 sivua 1 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>  Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu - Kuitulaboratorio		
<b>Ohjaaja</b>  Jari Käyhkö, Petteri Paananen (Kirjallinen osuus) ja Juhani Turunen (Kokeellinen osuus)		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, kuinka KID-puristusjauhatus soveltuu teräjauhatuksen esikäsittelyvaiheeksi ja on saada lisää tutkimustuloksia puristusjauhatuksen aiheuttamista muutoksista kuidun ja paperin ominaisuuksille. Työssä käytettiin tutkimuslaitteistona Xamkin Savonlinnan kuitulaboratoriolla olevaa KID300-puristusjauhin laitteistoa ja Valley-Hollanter-laboratoriojauhinta. Työssä tutkittiin puristusjauhatuksen soveltuvuutta teräjauhatuksen esikäsittelyksi ja sitä, voitaisiinko menetelmät yhdistää toimivaksi laitteistokokonaisuudeksi.</p> <p>Tutkimusmenetelminä käytettiin standardisoituja testausmenetelmiä ja massoille tehtiin SR-luvun ja WRV:n määritykset ja kuituanalyysit. Massoista valmistettiin koepaperiarkit, joilla saatiin määritettyä paperin ominaisuuksissa tapahtuvat muutokset. KID-käsittely on nähtävissä tuloksista. Referenssinä käytettiin Valley-jauhatusta, joille tehtiin samat edellä mainitut määritykset ja näistä tehtiin arkit, joista määritettiin paperin ominaisuudet. KID-käsittelyt massat käsiteltiin myös Valley-jauhimella. KID-jauhatuksia tehtiin kaksi kappaletta, ensimmäisellä kerralla käytettiin puristusjauhimella 6 mm rakoväliä ja massa ajettiin murskaimen läpi kolme kertaa, toisella kerralla rakoväli muutettiin 3 mm, muuten koeajoissa käytettiin samoja asetuksia, massana käytettiin 8 % sakeudessa olevaa mäntymassaa ja murskaimen täryn taajuutena oli 50 Hz.</p> <p>KID-käsittelyiden tuloksia verratessa Valley-jauhatuksen tuloksiin havaittiin, että pelkkä KID-käsittely huononsi arvoja tai arvot pysyivät samana kuin Valleyllä. Kun KID-massat jatko käsiteltiin Valleyllä, alkoi eroja olla tuloksissa havaittavissa. SR-luku kehittyi nopeammin korkeammalle samoilla jauhatusajoilla verratessa Valley-jauhatukseen. Kuituanalyyseissä huomattiin, että KID-käsittely teki enemmän hienoainetta. Kuitujen kihartuminen ja kaareutuminen lisääntyivät, kuitujen pituuden pysyessä samoissa lukemissa.</p> <p>Kun rakoväliä pienennettiin, huomattiin eroavaisuuksia myös KID-käsittelyiden välillä. Isoimmat erot olivat SR-luvun kehityksessä, pienemmällä rakovälillä kehitys oli maltillisempaa ja vetoindeksi kehittyi suuremmaksi. Kuituanalyyseissä havaittiin muutoksia, kuitujen kihartuminen oli samansuuntaista kuin Valleyllä, mutta kuitujen pituus ei juurikaan muuttunut.</p> <p>Johtopäätöksenä todettiin, että testausta kannattaa jatkaa ja että menetelmässä on potentiaalia jatkokehitykseen. Jatkossa testataan eri täyteaineiden vaikutuksia ja selvitetään murskaimen asetuksia muuttamalla sitä kuinka ne vaikuttavat kuitujen ominaisuuksiin.</p>		
<b>Asiasanat</b>  Jauhatus, Levyjauhatus, Puristusjauhatus, KID, Kuidun ominaisuudet		

<b>Author (authors)</b> Niko Huupponen	<b>Degree</b> Bachelor of Engineering process technology	<b>Time</b> April 2018
<b>Thesis title</b> Development of a new Compression grinding method Combining KID and sheet milling		
		36 pages 1 page of appendices
<b>Commissioned by</b> South-Eastern Finland University of Applied Sciences – Fiber laboratory		
<b>Supervisor</b> Jari Käyhkö, Petteri Paananen (Literature section) ja Juhani Turunen (Experimental section)		
<b>Abstract</b> <p>In this work was examined how KID-compression grinding is suitable for a pre-treatment step for blade grinding and another purpose was to gain more research results on the changes and effects of compression grinding on fiber and paper properties. The research equipment used was XAMK KID300 compression grinding equipment in the Savonlinna Fiber laboratory and the Valley-Hollander laboratory grinder. The suitability of compressed grinding for pre-treatment of blade grinding was investigated and whether the methods could be combined into a functional hardware entity.</p> <p>Standardized testing methods were used as test methods and the masses were subjected to SR and WRV assays and fiber analyzes. Test paper sheets were prepared from the bulkheads to determine the changes in the paper characteristics and how KID treatment is shown in these results. Reference was used only for Valley Grinding to which the same assays were made and sheets were made to determine the properties of the paper and KID-treated pulps were treated with a Valley Refiner. KID grinding was made two times, the first time using a press reamer of 6mm gap and the mass was driven through the crusher three times, the second time the gap was changed to 3mm, otherwise the same settings were used, the pulp was used in 8% consistency in pine pulp and the vibrator frequency was 50 Hz.</p> <p>Comparing with the results of KID treatments with the Valley-grinding results, it was noticed that mere KID treatment was worse or the values remained the same as in the Valley, but when KID masses were sequenced in the Valley, differences began to be detected in the assays. The SR broth developed faster at the same grinding times compared with the reference to Valley Grinding. In fiber analyzes, it was found that KID treatment made greater fine material, as well as fibrous incisions increased the curvature, with fiber length remaining at the same reading. When the rabbit was cut, differences were also observed between KID treatments, the biggest differences being in the development of the SR, the second was more moderate and the index developed larger, in the fiber analyzes changes were observed, the fiber curls were in the same direction as in the Valley, however higher but the fiber length changed a little.</p> <p>Summing up, it was found that testing should be continued and that the method has potential for further development. In future the effects of various fillers can be tested and the changes in the crusher settings can be investigated to alter the properties of the fibers.</p>		
<b>Keywords</b> refining, disc refining, compression refining, KID, fiber features		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	JAUHATUS.....	8
2.1	Puristusjauhatus .....	11
2.2	MC-Jauhatus .....	14
3	KOKEET .....	15
3.1	Levyjauhatuskokeet .....	17
3.2	KID-Teräsjauhatuskokeet .....	19
4	TULOKSET .....	23
4.1	KID-Jauhatuksien tulokset-murskaimen rakoväli 6 mm.....	23
4.2	KID-Jauhatuksien tulokset-murskaimen rakoväli 3 mm.....	27
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	31
	LÄHTEET.....	34

## LIITTEET

Liite 1. Excel-tulostaulukko arkkien ja massojen määrittämisestä

## 1 JOHDANTO

Jauhatus on erittäin olennainen osa paperin ja kartongin valmistusta. Näitä tuotteita valmistetaan maailmalla 400 miljoonaa tonnia vuodessa. Jauhatuksella kuitumassa ja puuhake jauhetaan valmistusprosessin kannalta optimaaliseksi, pyritään erottamaan kuidut ja saamaan ominaisuudet optimaalisiksi halutulle tuotteelle. Jauhatusta tapahtuu tehtaissa erityyppisillä teräjauhimoilla, joiden voimat ovat pääosin leikkaavia. Jauhatuksella on ominaista korkea energiankulutus, kuitujen ja sitä kautta niistä valmistettavien tuotteiden tiettyjen ominaisuuksien huonontuminen, kuten kuitujen pituuden lyhentyminen, lujuuksien huonontuminen ja paperin ohentuminen. Nykyisellä käytössä olevalla tekniikalla tehtävä teräjauhatus ei ole vielä tarpeeksi hyvin optimoitu energiankulutuksen ja kuidun laatuominaisuuksien suhteen, koska teräjauhatuksessa suurin osa kuidusta ei jauhaudu ollenkaan. Kuitujen ulkoinen fibrillaatio, kuitujen katkeilu ja hienoaineen muodostuminen on ollut ongelma, mikä on johtanut siihen että, puristusjauhatusta on tutkittu kemiallisen jauhatuksen parantamiseksi. Tähän liittyen tutkimuslaitteistoja on maailmalla rakennettu, mutta ne eivät ole soveltuneet tehdasmittakaavassa käytettäväksi. /1, s.223-233./



(Kuva 1. Kuitulaboratorion pilottihalli, KID-puristusjauhin testilaitteisto, Niko Huupponen 2018.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan puristusjauhatuksen soveltumista levyjauhatuksen esikäsittelyksi. Koska puristusjauhatusta aiheuttaa pääasiassa puristavia voimia, siinä ei esiinny ulkoista fibrillaatiota, mikä muodostaisi vähemmän hienoaainetta alhaisempien leikkausvoimien takia. Puristusvoimista johtuva sisäinen fibrillaatio saa aikaiseksi korkeamman lujuuspotentiaalin kuidulle, lisäksi itse jauhatustapahtuma kuluttaa vähemmän energiaa verrattuna perinteiseen jauhatukseen samalla vetolujuudella. Optimaalisesti ja teoreettisesti paras jauhatustapahtuma aiheuttaisi sopivasti sisäistä ja ulkoista fibrillaatiota, hienoaainetta ei juuri muodostuisi, kuituja ei katkeilisi, kaikki kuidut käsiteltäisiin homogeenisesti ja jauhatuksen energian tarve olisi matala.

Aiempien tutkimuksien mukaan kuitujen sisäistä fibrillaatiota pidetään tärkeänä jauhatusefektinä korkean lujuuspotentiaalin saamiseksi, mutta ulkoinen fibrillaatio ja hienoaineen muodostuminen edesauttavat kuituverkon sitoutumista. Puristusjauhatuksella on energiankulutuksen vähentämiseksi ja laatu-parannuksien lisäksi mahdollista laajentaa kuitujen toiminnallisia ominaisuuksia, joilla voidaan saada selvästi parempia kuitutuotteita. Opinnäytetyön pääasiallinen tarkoitus on tuottaa kokeellisia tuloksia puristusjauhatusmenetelmän toimivuudesta ja kuitujen ominaisuuksien muutoksista verrattuna teräjauhatukseen. Aiempien tutkimuksien ja jauhatuskokeiden perusteella puristusjauhatuksella on potentiaalia toimia valkaistun sellun kuituominaisuuksien parantamiseksi. Menetelmän toimivuus on todettu alustavasti kokeilla, kuitulaboratoriolle hankitulla pienellä KID-jauhimeella, jolla jatketaan kokeita menetelmän kehittämiseksi ja etujen toteuttamiseksi verrattuna pelkkään teräjauhatukseen.

KID-murskainta käytetään hienontamaan kiviainesta, jossa massa annostellaan laitteen yläosaan syöttösuppilon, josta se kulkee painovoimalla laitteen läpi täryn avustamana epäkeskeisesti pyörivän jauhatuskartion ja seinämän välistä alas. Täryn taajuutta voidaan muuttaa ohjauspaneelissa olevalla säätimellä, välillä 25 Hz-75 Hz. Kartion välystä voidaan säätää välillä 3 mm-6 mm, jonka muuttaminen vaatii hieman asennustyötä.

Aiemmissä kokeissa KID-jauhimeen syötettiin mäntymassaa 10 %:n ja 5 %:n sakeuksilla. Molemmat sakeudet ajettiin jauhimen läpi kolme kertaa. Täryn taajuuden ollessa 50 Hz ja vällyksen ollessa 3 mm molemmat massasakeudet saatiin ajettua jauhimen läpi, mutta 10 %:n massa tukki syöttösuppilon sekä

kulki vaikeasti laitteen läpi. Laite värjäsi massaa ruskeaksi ilmeisesti sekaan joutuneen öljyn tai ruosteen takia. Lisäksi molemmat massat sisälsivät huomattavasti kuitukimppuja, mistä johtuen näytteet jouduttiin kuumahajottamaan ennen analysointia. Aiempien kokeiden perusteella päädyttiin jatkamaan kokeita 5 – 6 % sakeuksilla, koska 10 %:n sakeus oli vaikeasti hallittavissa, eivätkä kokeiden tulokset antaneet syytä jatkaa tällä sakeudella.

Seuraavissa kokeissa käytettiin 5,5 %:n massasakeutta. Täryn taajuus oli myös nyt 50 Hz ja rakoväli saman 3 mm. Massa ajettiin laitteen läpi viisi kertaa, niin nopeasti kuin massa meni jauhimen läpi. Molemmissa kokeissa seurattiin energiankulutusta arvioimalla ampeerimittaria jauhatuksen ja ”tyhjäkäynnin” aikana. Lisäksi suoritettiin massan ominaisuuksien ja tulosten vertailemiseksi Valley-Hollanteri-jauhatusta.

Johtopäätöksinä todettiin, että KID-jauhimella mäntymassan SR-luku kehittyy 5,5 %:n sakeudessa tasaisesti jauhatuskertojen lisääntyessä, vetolujuus kehittyy huonosti SR-luvun kasvaessa, jääden huomattavasti alle standardijauhatuksen ja referenssijauhatuksien. Jauhatuskertojen lisääminen kolmesta useampaan enää parantanut vetolujuutta. Jauhatussakeuden nostaminen parantaa SR-lukua, mutta ei paranna vetolujuuden arvoja, eikä vetolujuus kasva jauhatustasteen mukaiseksi, mikä pyritään selvittämään tulevaisuudessa koejauhatuksissa. Energiankulutusta seurattaessa havaittiin, että tyhjäkäynnillä energian tarve on suhteellisen korkea, mutta nettoenergian tarve on pieni jauhatuksessa.

Seuraavissa kokeissa tutkittiin voiko KID-jauhinta käyttää lyhytkuitumassan jauhatuksessa, keskittymällä SR-luvun ja vetoindeksin kehittymiseen. Lisäksi seurattiin netto- ja bruttoenergioiden kulutusta, mihin käytettiin vertailuna Valley-laboratoriojauhatusta. Jauhatukset suoritettiin euca-arkeista tehdyllä 50 litralla 6,5 %:n massaa, joka ajettiin jauhimen läpi viisi kertaa. Jauhimessa käytettiin 50 Hz täryn taajuutta ja 3 mm:n välystä. Näytteet otettiin kunkin jauhatuskerran jälkeen, ja jokaisella jauhatuskerralla seurattiin brutto- ja nettoenergian kulutusta arvioimalla jauhatukseen kuluvaa aikaa ja virtamittarin antamia arvoja. Johtopäätöksinä todettiin, että euca-jauhatusta kuluttaa vähemmän energiaa ja SR-luku kehittyy hitaasti jauhatuskertojen lisääntyessä. Myöskin vetolujuus paranee SR-luvun ja energiankulutuksen kasvaessa hitaasti. /2/

Näiden edellä mainittujen aiempien kokeiden ja niiden tulosten perusteella tämä opinnäytetyö päätettiin tehdä. Sain sen opettajan kautta Xamkin kuitulaboratoriolle tehtäväksi, missä aiemmat kokeet on tehty. Opinnäytetyöllä pyritään tuottamaan kokeellisia tuloksia puristusjauhatusmenetelmän toimivuudesta ja saavutettavista kuitutasojen muutoksista sekä koostaa olennainen tieto puristusjauhatuksesta ja sen eroista sekä eduista verrattuna perinteiseen teräjauhatukseen.

## **2 JAUHATUS**

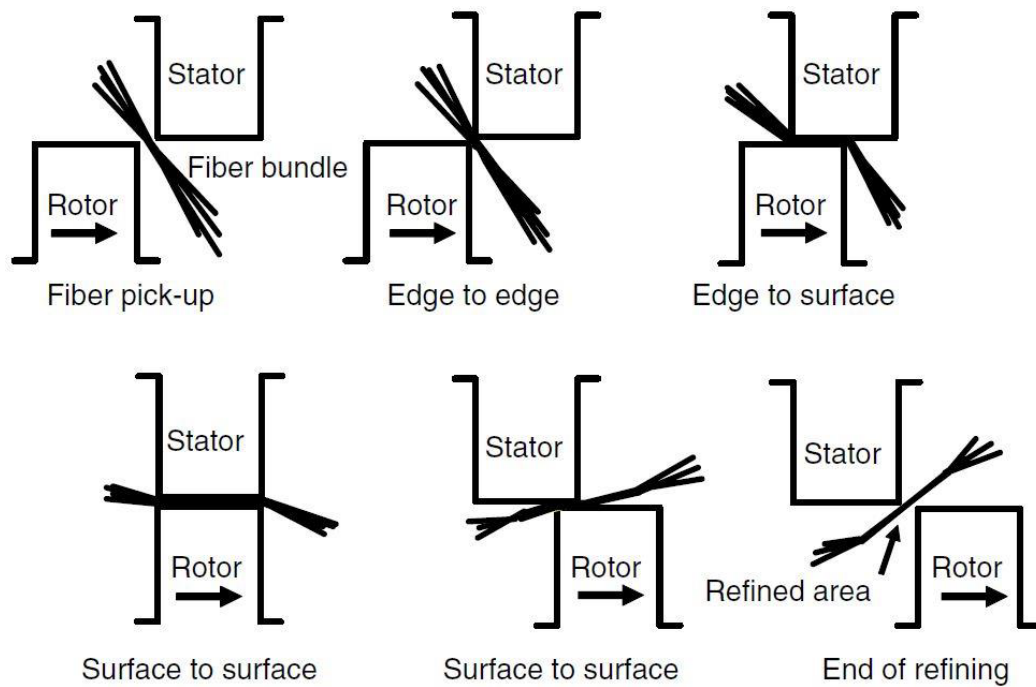
Maailmalla perinteisesti käytettävä jauhatusmenetelmä on teräjauhimeen perustava ratkaisu, joka pyrkii mekaanisesti muokkaamaan kuitujen ominaisuuksia. Muokkaavat voimat ovat pääasiallisesti leikkaavia ja aiheuttavat si- säistä fibrillaatiota. Puusta irrotetut kuidut eivät sinänsä sovellu minkään paperilaadun valmistukseen, koska ne ovat jäykkiä ja sileäpintaisia, jolloin niiden sidostenmuodostuskyky on erittäin huono.

Paperinvalmistuksessa jauhatuksella pyritään parantamaan kuitujen lujuusominaisuuksia, poistamaan ligniiniä ja parantamaan sitoutumiskykyä muokkaamalla kuituja jauhinterien välissä. Näin saadaan paperille tai kartongille haluttavat ominaisuudet. Jauhatus on yksi paperinvalmistuksen tärkeimmistä osaprosesseista, jolla voidaan vaikuttaa kuitujen ominaisuuksiin ja tätä kautta lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin. Osa näistä ominaisuuksista paranee jauhatusta lisäämällä, esim. vetolujuus ja vastaavasti osa taas huononee, esim. opasiteetti. Tällöin asiakkaan haluaman paperilaadun tärkeiden ominaisuuksien ja jatkojalostuksen kannalta joudutaan hakemaan kaikkein paras kompromissi jauhatuksen määräksi. Teräjauhintyyppistä riippumatta jauhautuminen tapahtuu samalla tavalla. Laitteistosta riippuen, ensimmäisessä vaiheessa kuidut syötetään tai ne kulkeutuvat terille, jolloin ne jauhaantuvat teräsärmien välissä, jolloin tapahtuu kuitujen ominaisuuksien muokkaantuminen. Kuidut poistuvat teriltä jauhaantumisen jälkeen.

Hollanteri-tyyppinen jauh-in on yksi vanhimpia teollisuuskäytössä olevia jauhimia, joka on nykyisin pääosin pelkästään käytössä laboratorioissa. Se toimii



erätyyppisesti siinä olevan altaan koon mukaan, joka määrittää massan määrän jauhatuksessa. Teräsijoittelu Hollanterissa on tehty siten, että sähkömoottorin pyörittämälle akselille on kiinnitetty roottori ja sen alapuolelle on sijoitettu staattori, joissa on akseleiden suuntaiset terät, joiden välissä jauhaantuminen tapahtuu. Jauhatuksen vaikutusta Hollanterissa voidaan säätää jauhatusajalla, jolloin massaa ajetaan terien läpi, kunnes haluttu jauhatusaste on saavutettu. Tehoa säädetään laskemalla roottoria lähemmäs staattoria, jolloin teräväli pienenee.



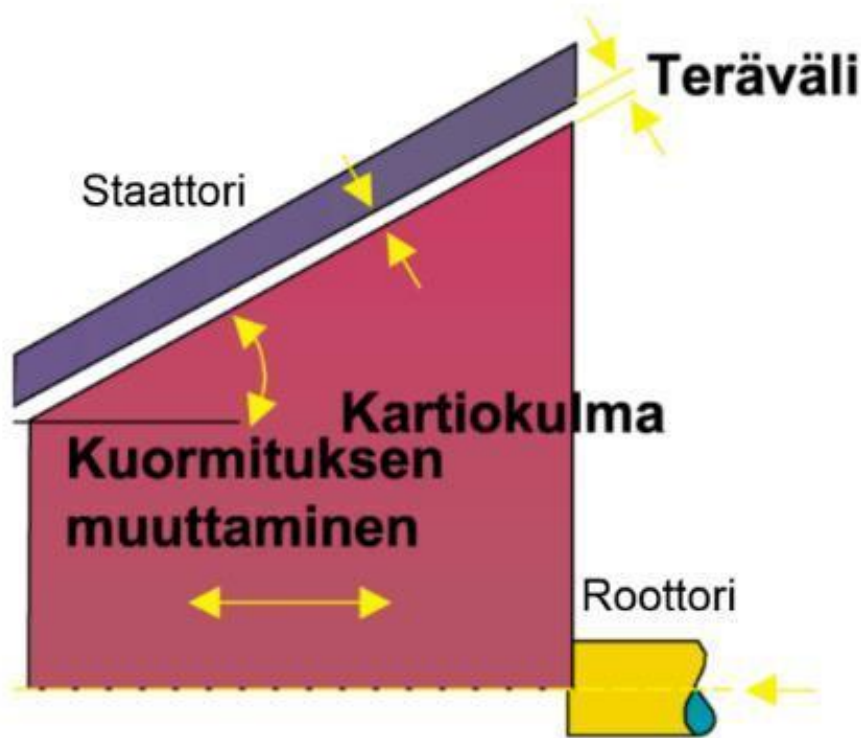
(Kuva 2. Teräjauhimen jauhatusperiaate, /4./)

Levyjauhimen pääosat muodostuvat ympyränmuotoisista keskeltä akseloidusta roottorista. Lisäksi riippuen siitä, onko kyseessä kaksilevy- vai monilevyjauhin, on sen ympärillä staattorit, joissa olevat terät jauhavat sellun siten, että massa syötetään levyjen keskellä olevasta yhteestä jauhimeen, mistä se kulkeutuu paineen ja keskipakovoiman vaikutuksesta jauhimen läpi ulkokehälle ja poistuu jatkojalostukseen.

Tässä jauhintyyppissä jauhatus tapahtuu jatkuvasti, sillä massaa voidaan syöttää laitteeseen koko ajan, ja se kulkeutuu siitä automaattisesti pois. Tämä aiheuttaa sen, että massa ei ole laadultaan tasaista, sillä osa sellukuiduista pysyy läpäisemään terät urien kautta kuitenkin joutumatta missään vaiheessa

teräsärmien väliin. Myöskin liikaa jauhautumista voi tapahtua osittaisen takaisinvirtauksen takia. /3/

Jauhatuksen alkuvaiheessa kuitukimput kulkeutuvat roottorien särmille, jossa särmää lähestyessä kuidut puristuvat kasaan ja joutuvat voimakkaan mekaanisen rasituksen kohteeksi, jonka seurauksena suurin osa kuitukimppujen sisältämästä vedestä poistuu, ja samalla osa lyhyemmistä kuiduista poistuu veden mukana terien urien kautta. Särmien välissä kuituihin kohdistuu mekaanista rasitusta, ja roottorin samanaikainen liike aiheuttaa myös repivää liikettä, mikä aiheuttaa kuitukimppuihin kuitujen välistä kitkaa. /4, s. 87-122/



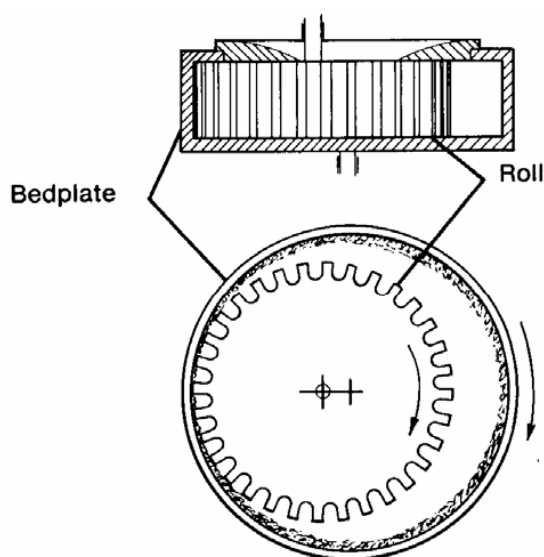
(Kuva 3. Kartiojauhimen toimintaperiaate, /5./)

Kolmas käytettävä jauhintyyppi on kartiojauhin, jossa roottori ja staattori ovat molemmat kartionmuotoiset. Kartiojauhin on toiminnaltaan jatkuvatoiminen, jossa massaa liikuttaa paine-ero ja roottorin aiheuttama pumppausvaikutus syöttöyhteiden välissä. Sellua syötetään kapeammasta päästä kohti leveämpää päätä. Tälläkin jauhintyyppillä on samoja ongelmia kuin levyjauhimella takaisinvirtauksen, massan tasalaatuisuuden ja jauhatusasteen kanssa. /3/

Jauhatusteorianä käytetään yleisemmin ominaissärmäkuormateoriaa, jossa kahdella termillä kuvataan massan saamaa jauhatusta, jolloin jauhatuksen määrää kuvataan ominaisenergiakulutuksella (kWh/t) ja jauhatuksen luonnetta kuvaa ominaissärmäkuorma (J/m tai Ws/m). Ominaisärmäkuorma on paperinvalmistuksessa kaikkein luotettavin teoria, joka kertoo tehollisen kuorman ja leikkausnopeuden suhteen. Siitä saadaan selville, kuinka paljon kuituja käsitellään, ja millä nopeudella kuidut menevät terien läpi. Jauhatuksen vaikutusta paperin laatusuureisiin mallinnetaan tukeutumalla tapauskohtaisiin mittaustietoihin. Eri tavoin jauhetusta massasta voidaan valmistaa käsiarkkeja, ja tutkia sitä kautta laatuominaisuuksia. Menetelmällä saadaan perustietoa, mutta tuloksilla ei voida suoraan ennustaa paperinkoneen tuottaman paperin laatua. Jauhatuksen nettoteho, joka saadaan tyhjäkäynnin ja kokonaistehon erotuksena, kertoo energiamäärän, joka tarvitaan kuidun ominaisuuksien muuttamiseksi. /6./

## 2.1 Puristusjauhatus

Puristusjauhatus eroaa perinteisestä jauhatuksesta nimensä mukaisesti siten, että jauhatus tehdään terien ja leikkaavien voimien sijaan puristamalla sellukuidut pintojen väliin, jolloin saadaan aikaiseksi sisäistä fibrillaatiota sekä erilaisia kuidun ominaisuuksia esiin verrattuna teräjauhatukseen. Maailmalla menetelmää on tutkittu, mutta sitä ei ole saatu teolliseen käyttöön laitteiston sopimattomuuden ja selkeiden hyötyjen puuttumisen takia.



(Kuva 4. PFI-jauhimen toiminta periaate /8./)

Laboratorioissa on yleisesti käytössä PFI-tyyppisiä jauhimia, jotka toimivat puristusjauhatuseriaaiteella, joissa epäkeskeisesti pyörivässä roottorissa olevat terät jauhatavat massan samansuuntaisesti pyörivän, staattorina toimivaa ulkokehää vasten, joka pyörii nopeammin kuin sisäinen roottori. Kyseessä on matalan intensiteetin jauhin, jossa massa jauhaantuu kauttaaltaan staattoria vasten. Jauhatusta kuvataan yleensä "kierroksilla" tai "PFI-luvulla", joka kuvaa roottorin terien iskuja massaahan, ja jota tapahtuu kymmenkertaisesti yhden roottorin pyörähdysten aikana. PFI-jauhimesta on myös Jokro-jauhintyyppinen sovellus, joka ei ole kovin yleinen laboratoriokäytössä verrattuna muihin jauhintyyppisiin. Jokro-jauhin on toimintaperiaatteelta samanlainen verrattuna PFI-jauhimeen, mutta erona siinä on useampi jauhatussäiliö, minkä lisäksi roottorin hammas on matalampi ja jauhaantumisasetta säädetään pääasiassa jauhatusajalla. /7./

Puristusjauhatusta on tutkittu maailmalla erilaisissa laajuuksissa, ja vuonna 2000 hollantilaiset paperinvalmistajat aloittivat projektin, jossa etsittiin uusia tapoja jauhaa paperinvalmistuksessa käytettävää massaa. Tarkoituksena oli poistaa tai vähentää perinteisen jauhatuksen haittavaikutuksia. Tämä tutkimus tehtiin EET:n rahoituksella nimikkeellä "Kuitujen raaka-aineteknologia"/8./. Projektissa kehitettiin ja tutkittiin puristusjauhatusmenetelmää, minkä todettiin vähentävän kuitujen vahingoittumista, kuten leikkaantumista, mikä lisää kuitujen kierrätystä. Siinä oli parempi energiankulutuksen hyötysuhde, ja se lisäksi paransi kuitujen ominaisuuksia sisäisellä fibrillaatiolla. Puristavan jauhatustavan takia myös vedenpoisto oli suurempaa.

Projektin tuloksina kerrottiin energiankulutuksen pienenemisestä, jauhatuksessa jopa 40 %. Kuitujen kuivauksessa kulutus pienenisi 30 %, ja kun paperin valmistuksessa kuluva energia yli puolet menee kuitujen kuivaamiseen, vähenisi kokonaisenergian kulutus 15 %. Lisäksi kuitujen vahingoittumisen vähentyessä voitiin käyttää enemmän kierrätyskuitua, mikä puolestaan vähensi uuden kuidun käyttöä. Kokeen perusteella hollantilaiset paperinvalmistajat suhtautuivat positiivisesti puristusjauhatukseen. Myös muiden maiden paperinvalmistajat olivat osoittaneet mielenkiintoa puristusjauhatusta kohtaan. /8./

Tämän EET:n projektin johdosta ja tulosten positiivisten puolien vuoksi vuonna 2007 aloitettiin Hollannissa Wageningenin yliopistolla Jocco Dekker-koelaitteistolla projekti. Siihen liittyvä laitteisto on tällä hetkellä sijoitettuna Coldenhovenin paperitehtaalle, jossa pyritään ratkaisemaan siihen liittyviä ongelmia ja jatkamaan testausta, jota varten on rakennettu pilottilaitteisto, jolla pyritään pääsemään 1 ton/h jauhatukseen ja 130 kW kulutukseen. Jocco Dekker-laitteisto on PFI-jauhimeen pohjautuva ratkaisu, johon syötetään ruuvilla massa alhaalta massa ulommalle pyörivälle rummulle. Siellä olevat sisemmät hydraulisesti painatetut rummut puristavat massaa ulkokehää vasten, pyörien samalla nopeudella ulomman rummun kanssa. Sen sisällä on toinen ruuvi, joka levittää massan tasaisesti ulommalle rummulle. Jocco Dekker-testijauhimella päästiin jatkuvaan 10-50 kg/h jauhatukseen 4-20 % sakeuksilla. Laitteistolla saatiin pienennettyä jauhatusastetta ja WRV-arvoa, mutta myös hieman pienempiä vetolujuuden arvoja oli mitattu. /9./

Kuitulaboratoriolla aihetta on tutkittu vuodesta 2010 asti, mistä olen kertonut aiemmin johdannossa. Aalto-yliopistolla asiaa on tutkittu opinnäytetyönä 2016, jolloin tutkimuslaitteena käytettiin OptiFiner-kartiojauhinta ja TwinFlo-levyjauhimeen tarkoitettua puristusjauhatusterää. Tavoitteena oli selvittää, saadaanko näillä tuotettua kuiduille suurempaa vetolujuutta. Samalla oli testattu myös Nitrobar-koeteriä, joilla pyrittiin parantamaan vetolujuutta ja selvittämään samalla uuden menetelmän toimivuutta. Kokeissa huomattiin, että vetolujuudet eivät parantuneet OptiFiner-terillä, eikä myöskään Nitrobar-terillä saavutettu toivottuja tuloksia, joten menetelmä katsottiin toimimattomaksi ja syyksi epäiltiin liian kovia teräkuormia. Samassa työssä selvisi myös, että jatkotutkimuksia kannattaa jatkaa. /10./

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena yhdistää puristusjauhatus esikäsitteilyvaiheeksi perinteiseen levyjauhatukseen ja selvittää yhdistelmän tuomat edut ja haitat, mitä ei ole aiemmin testattu. Pääasialliset erot puristusjauhatuksen tuloksissa verrattuna perinteisiin jauhatuksiin ovat olleet sisäisessä fibrillaatiossa, puristusasteessa ja vetolujuuksissa, jotka pääsääntöisesti ovat suuremmat kuin perinteissä jauhatuksessa. Lisäksi puristusjauhatus kuluttaa enemmän nettoenergiaa, mutta ei niinkään bruttoenergiaa.

## 2.2 MC-jauhatus

Jauhatusta voidaan tehdä matalassa sakeudessa (LC, 2 – 6 %), keskisakeudessa (MC, 10 - 20 %) ja korkeassa sakeudessa (HC, 30 - 35 %). Matalasakeusjauhatuksessa jauhimet ovat paperin ja kartongin valmistuksessa yleensä paineenalaisia. LC-jauhatuksen tiedetään aiheuttavan kuiduille leikkaantumista eli lyhyiden kuitujen syntymistä. Se ei ole enää toivottu ominaisuus, koska pitkien havupuukuitujen pituutta pidetään edullisempänä paperin lujuudelle. Ilman niitä käytetään muita komponentteja ja täyteaineita vahvistamaan kuituverkkoa, jotka puolestaan heikentävät paperin ominaisuuksia. LC-jauhatuksessa energiankulutus on matala. /11./

Suursakeusjauhatusta käytetään pääasiassa pakkauspaperimassojen käyttöön, ja jauhimina käytetään levyjauhimia, joiden terävälit ovat suuria, 0,5mm-1,0mm välillä. Jauhatusprosessissa massan kemiallisella ympäristöllä, kuten pH:lla ja massassa olevilla kemikaaleilla on suuri vaikutus jauhatuksen lopputulokseen. Vaikkakaan jauhatuksessa ei käytetä mitään kemikaaleja, tiedetään tiettyjen kemikaalien edistävän jauhatusta ja parantavan sen vaikutuksia. Tavallisesti käytetään korkeasakeusjauhatusta, koska silloin voidaan massojen karkeajakeen muokkauksessa käyttää tarvittava energiamäärä ilman, että menetetään kuitujenpituutta. Korkeassa sakeudessa kuituverkosto on luja ja kestää suurempia kuormia. Lisäksi kuiduilla on sakeudesta johtuen runsaasti kosketuskohtia toisiinsa, mistä johtuen voimat aiheuttavat kuitujen kihartumista, hankautumista ja puristumista toisiansa vasten. Suursakeusjauhatuksella saavutetaan kuitenkin arkille suurempaa märkävenymää.

Keskisakeusjauhatuksella tuotettua massaa käytetään LWC-paperin valmistukseen, koska kyseiseltä paperilaadulta vaaditaan pintalujuutta, riittävästi jäykkyyttä, hyvää sileyttä, sekä kiiltoa ja vaaleutta. Nämä saavutetaan MC-jauhetulla massalla. MC-jauhatuksessa tikkupitoisuus on pienempi. Mikäli jauhetetaan alhaisemmalla jauhatuspitoisuudella, sakeutta nostettaessa kuidut jäävät jäykiksi ja karkeammiksi. Kuitenkin MC-jauhatuksen alueen keskivaiheilla saavutetaan hyvät optiset ominaisuudet, eikä sakeudella ei ole selvää merkitystä lujuusominaisuuksiin. MC-jauhettu massa ei myöskään puristu kokoon yhtä paljon kuin HC-jauhettu massa, minkä lisäksi HC-massalla on alhaisempi opasiteetti. /12./

Erilaisilla jauhatussakeuksilla saadaan muokattua kuituihin erilaisia ominaisuuksia, ja valittu jauhatussakeus on riippuvainen halutusta lopputuotteesta, MC-jauhatusta onkin useimmiten paras vaihtoehto kierrätyskuidun ja selluntuotannon hylkyjen jauhatukseen. Tulokset ovat osoittaneet, että jauhaaminen 10 % - 12 %:n sakeudessa parantaa sisäistä fibrillaatiota ja kuitujen turpoamista, kun 15 % - 20 % sakeuksilla jauhaaminen aiheuttaa kuiduille kihartumista ja hienoaainetta syntyy enemmän. /13./

Jauhatusprosessissa sakeuden lisäksi merkitsevä suureenä käytetään energianominaiskulutusta, jolla kuvataan energiamäärää massan työstämiseen. Se saadaan laskettua jauhatustehon suhteesta tuotantoon. Yksikkönä käytetään MWh/t, eli energiamäärä tuotettua massatonnina kohden. Yleisesti voidaankin todeta, että mitä suurempi määrä energiaa laitetaan massaan, sitä suurempi muutos tapahtuu kuidun ominaisuuksille. /14./

### 3 KOKEET

#### ***Kokeissa käytettävät testausmenetelmät:***

Valley-Hollanterijauhatusta

Jauhatusmenetelmä standardi SCAN-C 25:76

Schopper-Riegler-luku (SR-luku) standardi SCAN-C 19:65

Laboratorioarkkien valmistaminen ilman kiertovettä

Standardi SCAN-C 26

Laboratorioarkkien testaus kuudesta laboratorioarkista

Standardi SCAN-C 28:76

Neliöpainon laskentakaava:

$X \text{ kpl arkkien paino} / \text{ arkkien lkm.} \cdot 50,3 = \text{Neliöpaino (g/m}^2\text{)}$

Repäisylujuusindeksin laskentakaava:

$\text{Repäisylujuus (mN)} / \text{Neliöpaino (g/m}^2\text{)} = \text{Repäisylujuusindeksi Nm}^2\text{/g}$

WRV-testaus: kuidun rakenteen kyky pidättää vettä

Standardi SCAN-C 62:00

ANO 4.1.09

ANO 4.1.12

Kuituanalyysi: yksittäisten kuitujen ominaisuuksien määrittämiseksi

Laitteisto: Metso Kajaani FS300

Standardi TAPPI Single fiber mode

Tässä opinnäytetyössä kokeilla pyritään tuottamaan analysoitavaa tietoa KID-jauhatuksesta ja sen hyödyistä sekä tuottamaan vertailua muihin jauhatusmenetelmiin. Tutkimusmenetelminä käytetään standardin mukaisia testausmenetelmiä, joilla saadaan todettua sellulle tapahtuva muutos ja jauhatuksen vaikutukset siihen. Ongelmana KID-jauhatuksessa on tiedon ja tutkimustuloksien puuttuminen siitä, mitä puristusjauhatus tekee sellukuiduille ja minkälaisia muutoksia se aiheuttaa kuidun ja paperin merkitseville ominaisuuksille (esimerkiksi lujuusindeksi, vetolujuus, repäisylujuus, bulkki ja suotautuvuus).

Aloitimme jauhatuskokeet Valley-Hollanteri-jauhatuksella, jotta saataisiin myöhemmille KID- ja levyjauhatuksille vertailutietoa. Massana käytettiin mäntysel-lua, jolle teimme laboratorio-ohjeiden ja standardin (SCAN-C 25:76) mukaisen jauhatuksen massalla, jossa 360g Abs.kuivaa massaa vastaava määrä liuotet-tiin siten, että tilavuudeksi tuli 3 litraan vettä. Se kaadettiin Hollanteriin ja lisät-tiin vielä 20 litraa vettä, jolloin koko tilavuudeksi tuli 23 litraa. Otimme näytteet massasta jauhatuksen aikana 5, 15, 30, 60 ja 90 minuutin kohdalla, eikä jau-hatusta pysäytetty näytteenoton ajaksi.

Sen jälkeen teimme jauhatuksesta otetuille näytemassoille sakeuksien määri-tyksen, SR-luvun määrittymisen (Standardin SCAN-C 19:65) ja valmistimme massoista koepaperiarkit standardimenetelmien (SCAN-C 26) mukaisesti. Val-mistetuille koearkeille tehtiin tämän jälkeen paperinominaisuuksien määrittymiset (SCAN-C 28:76), jotka aloitettiin opasiteetin määrittymisellä. Tämän jälkeen tehtiin arkkien paksuuden mittaukset pinomittauksella ja mitattiin arkkien pai-not. Niistä laskettiin neliöpaino, minkä avulla pystyttiin laskennallisesti määri-tettyä tiheys ja bulkki. Tämän jälkeen arkit leikattiin ohjeissa annettuihin tes-tausliuskamittoihin, joilla tehtiin vetolujuus- ja repäisylujuustestaukset, joista saatiin laskennallisesti repäisylujuusindeksi, vetolujuusindeksi ja lujuusindek-sit. Näiden lisäksi veto- ja repäisylujuustesteistä saatiin selville murtovenymä ja repäisylujuus.

Näytemassoille tehtiin myös WRV-testit (Standardi SCAN-C 62:00), joka ku-vaa kuidusta muodostetun kakun kykyä pidättää vettä. Se johtuu jauhatuksen aikana tapahtuvasta kuidun sisäisestä fibrilloitumisesta, pienien sisäisten huo-kosten suurentumisesta sekä kuitulamellien jakaantumisesta, jota kutsutaan turpoamiseksi. Turpoamisen lisäksi syntyy samanaikaisesti ulkoisia fibrillejä,



jotka myös lisäävät kuitujen vedenpidätyskykyä. WRV-testaus aloitetaan punnitsemalla 4 grammaa Abs.kuivaa massaa vastaava määrä näytettä neljään eri astiaan, koska sentrifugissa on neljä astiaa. Näihin kaikkiin laitetaan samaa näytettä, minkä jälkeen näytteet sentrifugoidaan ja otetaan pois laitteesta. Tämän jälkeen näytteet punnitaan folioastiassa ja laitetaan yön ajaksi kuivamaan lämpökaappiin. Näytteiden oltua yön yli lämpökaapissa näytteet punnitaan uudelleen ja lasketaan vähentämällä molemmista punnituista näytteistä folioastiat ja jakamalla näytteiden painot toisillaan. Tulokset ilmoitetaan prosentteina märkäpainosta, ja WRV-luku kuvaa puristimen jälkeistä kuiva-ainetta.

Näytteille tehtiin myös kuituanalyysi KajaaniFS3000-laitteistolla (Standardi TAPPI single fiber mode), josta saatiin selville yksittäisten kuitujen muutoksia, kuten ovatko kuidut kuinka kihartuneita ja onko pituudessa ja leveydessä tapahtunut minkä suuntaisia muutoksia. Tuloksina saatiin selville, että jauhatusajan kasvaessa SR-luku kasvoi, suodattavuus huononi, vetolujuus ja repäisy-  
lujuudet huononivat. Testit tehtiin standardoiduilla testausmenetelmillä, jotka on selostettu saatavilla olevissa laboratorio-ohjeissa työkohtaisesti ja Kuituraaka-aineen ja paperintestaus menetelmiä-kirjassa. /15./

### **3.1 LEVYJAUHATUSKOKEET**

Aloitimme levyjauhatuskokeet valmistamalla 4-prosenttista mäntysellumassaa 50 litraa, jolla oli tarkoitus tehdä referenssikoeajo, josta olisi saatu vertailutietoa myöhempiä KID-jauhatuskokeita varten. Testilaitteistona toimi Kuitulaboratoriolla oleva, tehdastyyppisestä levyjauhimesta tehty pilottilaitteisto. Toiminnaltaan laitteisto vastaa tehdastyyppisiä laitteistoja, ollen kooltaan ja kapasiteetiltään kuitenkin huomattavasti pienempi. Testauskäyttöön laitteisto on juuri sopiva kokonsa puolesta ja siksi sillä on mahdollisuus saada aikaiseksi samanlaista jauhatusvaikutusta kuin tehdas käytössä olevilla laitteistoilla.



(Kuva 5. ja 6. Kuitulaboratorion pilottihalli. kuva Niko Huupponen 2018)

Vasemmassa kuvassa (Kuva 5.) levyjauhin-testilaitteisto kokonaisuudessaan ja oikeanpuoleisessa kuvassa (Kuva 6.) levyjauhimen terät.

Laitteistolle tehtiin alkuun käyttöönottovalmistelut, joissa liitettiin tarvittavat vesi-, paineilma- ja virtajohdot. Tämän jälkeen tehtiin vesiajo, jossa vettä kierätettiin kerran koko järjestelmän läpi, millä saatiin järjestelmä puhtaaksi ja todettua sen olevan toimintakuntoinen. Seuraavaksi vesi ajettiin pois säiliöstä ja tilalle vaihdettiin testiajossa käytettävä massa, joka ajettiin järjestelmän ja jauhimen läpi neljä kertaa. Samalla seurattiin virrankulutusta, josta huomioitiin brutto- ja nettoenergiat sekä aika, jonka massa käyttää järjestelmän läpi menemiseen, kun jauhimelle tuleva virtausputkenventtiili aukeaa massan kulke- mista varten. Ajanotto lopetettiin, kun venttiili meni kiinni.

Massa ajettiin järjestelmän läpi neljä kertaa ja joka kerralla otettiin näytettä n.3 litraa. Referenssiajon jälkeen järjestelmä tyhjennettiin massasta. Tämän jälkeen tehtiin pesuajot laitteistolle neljään kertaan, Pesuajoissa syöttösäiliö täytettiin vedellä ja vesi ajettiin jauhimen läpi siten, että joka kierroksen jälkeen pesuvesi tyhjennettiin viemäriin ja syöttösäiliöön vaihdettiin puhdas vesi uutta pesua varten. Levyjauhimesta saadulle massalle tehtiin SR-luvun määritykset, joissa huomattiin, että massa ei jauhaannu ollenkaan levyjauhimesta. Vaikka teräväliä pienennettiin useasti ja jauhatuskertoja lisättiin, SR-lukuun ei saatu näillä muutoksilla vaikutusta aikaiseksi.

Alkuun epäiltiin massan vähyyden olevan syynä heikkoon jauhatustulokseen, koska putkistoissa massan havaittiin kulkevan epätasaisesti ja sykäyksittäin. Tästä voisi johtua se, että putkistossa ei ole tarpeeksi painetta massan syöttämiseksi jauhimeen. Jatkoimme koeajoja valmistamalla 100 litraa 3,5 prosentista massaa, jolla oli tarkoitus saada tasaisempi massan virtaus putkistoihin

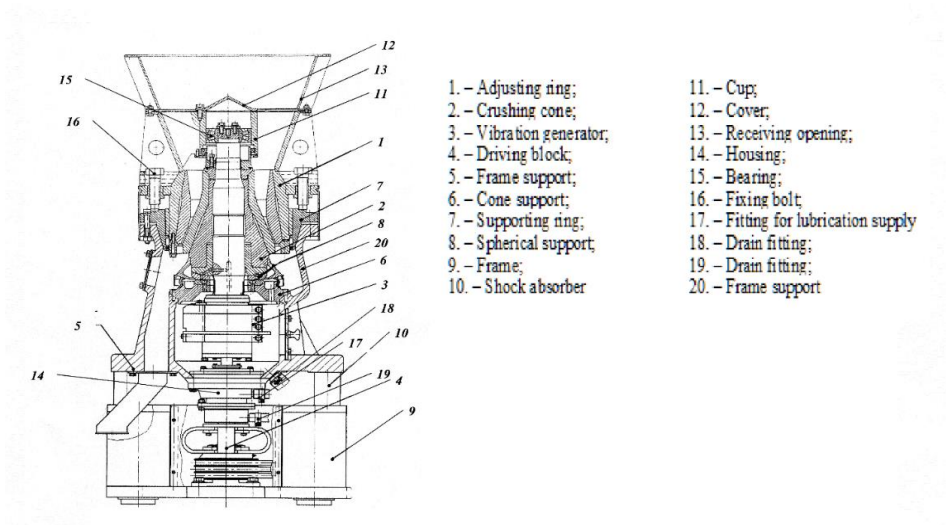
sekä tasaisempi syöttö jauhimeen. Tähän koeajoon teräväli säädettiin minimirajalle, jolloin saataisiin terävälistä johtuva virhe pois.

Alkuun tehtiin koeajo pelkällä vedellä, jolloin järjestelmä toimi. Vedenpoiston jälkeen säiliöön vaihdettiin massa. Aloitellessa koeajoja massalla pumpun havaittiin syöttävän massaa jauhimeen, mutta jauhin ei käynnistynyt. Vikaa selvitettiin ohjelman ja järjestelmän läpikäynnillä, tarkistamalla sulakkeet, sähköpiistokkeiden liitokset, invertterit ja kytkemällä laitteistosta virrat pois ja takaisin päälle, mutta vika ei tästäkään huolimatta poistunut. Laitteiston muut osat toimivat, mutta jauhin ei käynnistynyt. Vika ei selvinnyt ja levyjauhin-koeajot jouduttiin tästä syystä jättämään pois kokeellisesta osasta ja se korvattiin Valley-Hollanteri-jauhatuksella.

### 3.2 KID-TERÄJAUHATUSKOKEET

KID-puristusjauhin on alkuperältään venäläisvalmisteinen kartiomurskain, jota käytetään pääasiassa kivien murskaukseen ja ollen täten rakenteeltaan erittäin vahva kestääkseen kivenmurskauksesta aiheutuvat voimat.

Laitteiston rakenne on yksinkertainen: sisällä on kartionmallinen roottori, joka pyörii epäkeskeisesti kartionmallisessa staattorissa, ja näiden välissä olevassa tilassa tapahtuu kuitujen puristusjauhautuminen. Laitteen päällä on syöttösuppilo ja takapuolella on poistoputki, laitteen rakennetta on kuvattu kuvassa 7.



(Kuva 7. Rakennepiirustus KID-jauhimesta, /16./)



*(Kuva 8. ja 9. Kuitulaboratorion pilottihalli, Niko Huupponen 2018.)*

*Vasemmassa kuvassa (Kuva 8.) KID-jauhimen massan poistoputki ja oikeanpuoleisessa kuvassa (Kuva 9.) KID-jauhimen massan syöttösuppilo.*

Aloitimme KID-koeajot valmistamalla alkuun 50 litraa 8-prosenttista mäntysellu massaa, jolla tehtiin alkuun referenssikoeajo, siitä saatiin vertailutietoa siihen mitä puristusjauhatusta aiheuttaa kuidun ominaisuuksille ja miten sen tuomat vaikutukset näkyvät teräjauhatuksessa. Testilaitteistona toimi Kuitulaboratorion olla oleva KID3000-puristusjauhin pilottilaitteisto. Pilottilaitteistolle ei löydy vastaavaa tehdas- tai laboratoriokäytössä olevaa laitteistoa vertailukohdaksi, joten tulosten arviointi muihin kokeisiin tai laitteistoihin on vaikeaa.

Käyttöönottovalmistelut ovat laitteistolle helpot: kytketään laitteeseen virta päälle, tämän jälkeen käynnistetään voitelupumppu, sitten laitetaan murskaimeen virrat päälle ja lopuksi käynnistetään murskain. Koeajossa käytettiin täryssä 50 Hz:n taajuutta, rakovalinä käytettiin 6 mm, ja samalla seurattiin laitteen kojetaulussa olevasta näytöstä ampeerimäärää, jota käytettiin virrankulutuksen suuntaa-antavaan määrittelyyn. Ampeeri lukemat olivat massaa syötettäessä tasaisesti 17-21A:n välillä. Samalla otettiin aikaa siihen, että kuinka kauan massalla kestää kulkea murskaimen läpi. Ensimmäisellä kierroksella, kun massa meni läpi, aikaa kului 3 minuuttia 6 sekuntia, toisella kierroksella läpimenoaika oli 1 minuutti 50 sekuntia ja kolmannella kierroksella läpimenoaika oli 1 minuutti 19 sekuntia.

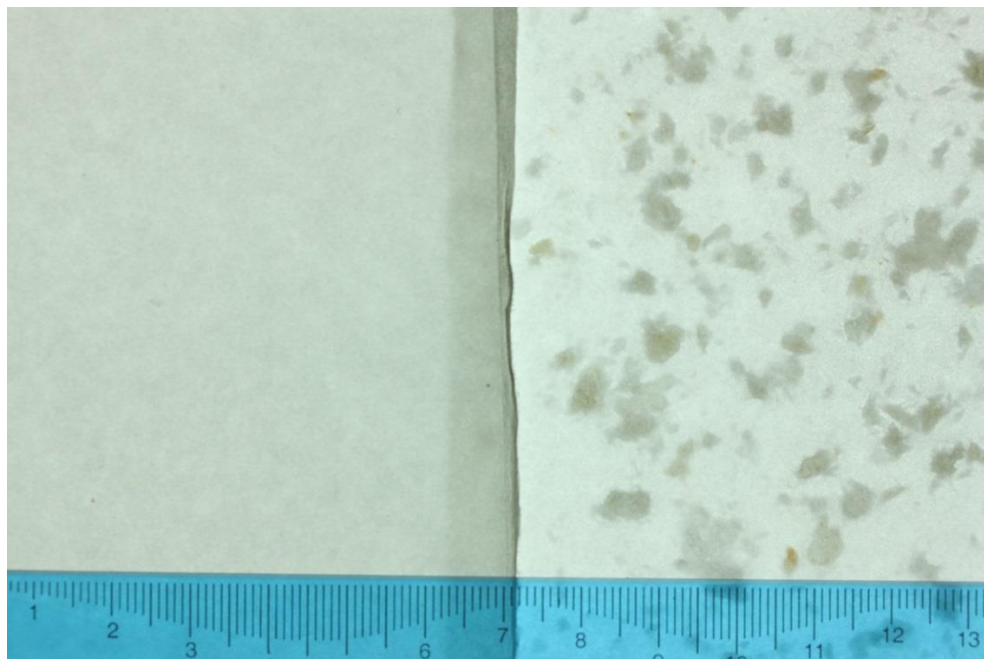
Massa syötettiin murskaimeen syöttösuppilosta, joka on laitteen päällä ja varottiin syötön aikana tukkimasta sitä massalla, eli syötettiin samaan tahtiin kuin kone ”söi” massan suppilosta. Massa virtaa murskaimessa painovoimalla sen läpi ja poistuu murskaimen takapuolella olevasta poistoputkesta. Massana

käytetty 8%:nen seos kulki helposti laitteen läpi ilman että se tukki laitteistoa. Massa ajettiin murskaimen läpi kolme kertaa, ja joka läpiajon kerran jälkeen massasta otettiin n.5 kg näytettä.

KID-jauhimesta saaduille massoille tehtiin samat testaukset kuin muillekin aiemmin saaduille massoille. Alkuun massat kylmähajotettiin, koska havaittiin massassa olevan kuitukimppuja, jotka eivät olleet toivottuja arkkien valmistuksessa eikä valmiissa arkeissa, koska ne vaikuttavat liikaa niiden testauksessa ja myöskin SR-luvun määrittämisessä. Massoista määritettiin sakeus, SR-luku ja niistä tehtiin myös koearkkeja kuusi kappaletta, joista testattiin paperinominaisuudet. Arkkien testaus aloitettiin opasiteetin määrittämisellä, tämän jälkeen mitattiin arkkien paksuudet pinomittauksella ja arkeista otettiin paino, millä saatiin laskennallisesti määritettyä neliöpaino. Arkit leikattiin tämän jälkeen testausliuskoiksi, joita käytetään vetolujuus- ja repäisylujuustestauksissa. Arkeille tehdyistä lujuusmittauksista saatiin laskennallisesti selville repäisylujuus-, vetolujuus- ja lujuusindeksit, näiden lisäksi saatiin testeistä selville murtovenymä ja repäisylujuus. Näytemassoille tehtiin myös WRV-testit ja kuituanalyysi KaaniFS3000-laitteistolla.

KID-massat jatkokäsiteltiin Valley-Hollanter-jauhimesta, jotta nähtäisiin kuinka puristusjauhatusta vaikuttaa teräjäuhatuksessa, ja onko sillä saavutettavissa etuja pelkkään teräjäuhatukseen. Kaikki kolme puristusjauhatuksesta saatua näyte-erää jauhettiin Hollanterissa siten, että kokonaisjauhatusaika oli 40 minuuttia ja näytteet otettiin 10, 20 ja 40 minuutin kohdalla. Massoille tehtiin sakeuden ja SR-luvun määrittämiset, WRV-testaus ja kuituanalyysi, minkä jälkeen massoista valmistettiin koearkit, joille tehtiin myös vaaleuden määrittäminen. Arkit punnittiin ja paksuus mitattiin pinomittauksella, joilla laskettiin neliöpaino. Tä-

män jälkeen arkit leikattiin testausliuskoiksi ja niille tehtiin vetolujuus- ja repäisylujuustestaukset.



*(Kuva 10. Valley-jauhetusta massasta tehdyn (Vasemmanpuoleinen) arkin ja pelkästään KID-jauhetusta (Oikeanpuoleinen) massasta tehdyn arkin eroavaisuus kuvassa. Niko Huupponen 2018.)*

Tämän jälkeen kokeita jatkettiin muuttamalla murskaimen rakoväli 3 mm:ksi ja läpi ajettiin uudelleen 8%-nen massa. Täryn taajuus pysyi samana ja massa ajettiin murskaimen läpi kaksi kertaa. Massoille tehtiin tämän jälkeen jatkokesittely Valley-Hollanteri-jauhimella, josta otetuista näytemassoista valmistettiin koearkit, ja massoille tehtiin samat testaukset ja määrityksetkin kuin aiemmillekin näytteille. Toisen KID-jauhatuksen jälkeen silmämääräisesti havaittiin, että vesi oli erottunut massasta erilleen, toisin kuin ensimmäisellä kerralla, jolloin rakoväli oli 6 mm.

Energiankulutus KID-murskaimelle laskettiin suuntaa antavasti eikä myöskään pystytty arvioimaan, kuinka KID-jauhatus vaikuttaa energiankulutukseen Valley-jauhatuksessa, koska siitä ei saada laskemiseen tarvittavia arvoja tietoon. Ensimmäisellä kerralla, kun rakoväli oli 6 mm, murskain kulutti energiaa n.99 kWh/t kohden ensimmäisellä jauhatuskierroksella, toisella kierroksella n.62 kWh/t kohden ja kolmannella kerralla n.49 kWh/t. Toisella jauhatuskerralla, kun teräväli oli pienennetty 3 mm, ensimmäisellä jauhatuskierroksella energiaa kului n.166 kWh/t kohden ja toisella kierroksella energiaa kului n.90

kWh/t kohden. Jokaisen jauhatuskerran välissä läpi ajettavan massan määrä väheni n. 5 kg, kun otettiin näytteet.

## 4 TULOKSET

Alkuun Valley-jauhetuille massoille tehtiin sakeuden ja SR-luvun määritykset, WRV-testaukset ja kuituanalyysit. Tämän jälkeen massoista tehdyille koearkeille tehtiin paperin ominaisuuksien määritykset, joista saatiin määritettyä opasiteetit, joka kertoo arkkien vaaleuden ja arkin tasaisuuden. Arkkien paksuudet määritettiin pinomittauksella ja arkit punnittiin, joista saaduilla tuloksilla saatiin laskennallisesti määritettyä neliöpaino, jota käytettiin vetolujuus testauksissa. Lisäksi arkeille tehtiin repäisyjuuustestaus. Kaikki massoista ja arkeista saadut tulokset on merkitty liitteenä olevaan tulostaulukkoon kuvaajina ja saatuina arvoina.

Alkuun testattiin pelkästään Valley-Hollanteri-jauhatuksesta saatu massa ja siitä tehdyt arkit, joista tehdyillä määrityksillä ja niiden tuloksilla voidaankin todeta, että massan SR-luku ja WRV-arvo kehittyi nousujohteisesti ja tasaisesti jauhatusajan kasvaessa, loppumassan ollen reilusti ylijauhaantunutta, kun SR-luku kasvoi yli 50:n. Massalle tehdyistä kuituanalyyseistä voidaan todeta että, ominaisuudet muuttuivat selkeästi jauhatusajan kasvaessa; kuitujen pituus ja leveys lyheni, hienoaineen määrä lisääntyi ja kuitujen kihartuminen väheni.

Samalla tavalla kehittyivät kaikki muutkin arvot tasaisesti, tarjoten täten hyvän referenssin myöhempisiin jauhatuksiin. Arkkien määrityksissä havaittiin, että tiheydet ja bulkki pysyivät tasaisesti nousten koko ajan jauhatusajan kasvaessa. Repäisyjuuden arvot laskivat jauhatusajan kasvaessa, ja vastaavasti vetolujuuden arvot kasvoivat ja kääntyivät laskuun, kun massaa oli jauhettu 90 minuuttia. Tämä nähtiin määrityksissä ja on havaittavissa taulukossa olevista kuvaajista. Arkeille tehdyille vaaleuksien määrityksissä huomattiin, että vaaleutta määrittävä keskiarvo laski tasaisesti jauhatusajan kasvaessa.

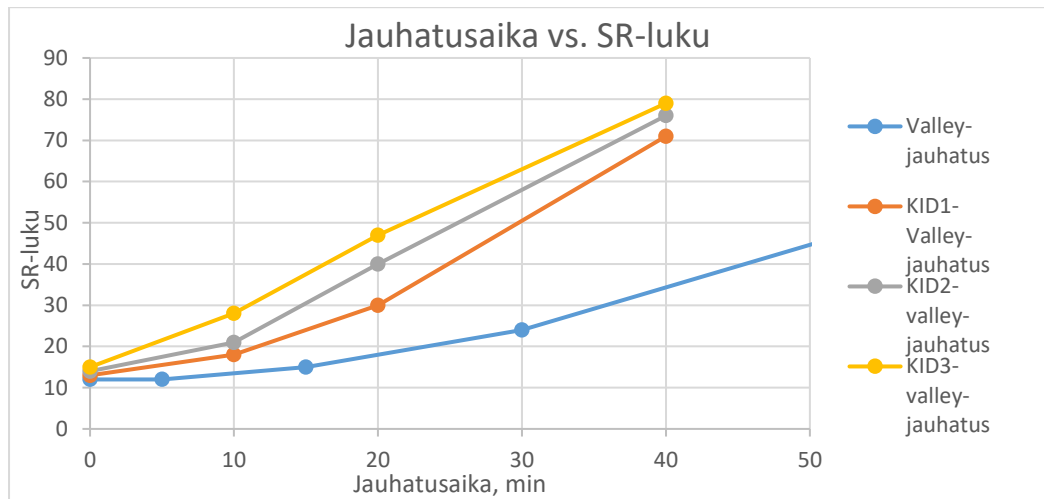
### 4.1 KID-JAUHATUKSIEN TULOKSET – murskainen rakoväli 6 mm

Nämä tulokset ovat KID-jauhatuksesta, jossa murskaimen rakoväli oli 6 mm. KID-puristusjauhimesta jauhaantuneet massat testattiin samalla lailla ja samoilla menetelmillä kuin Valley-Hollanteri-massat. Testaukset aloitettiin sakeuden ja SR-luvun määrittämisellä, tämän jälkeen tehtiin WRV-määrittäminen ja kuituanalyysit, minkä jälkeen tehtiin koearkit ja niille tehtiin paperinominaisuusmäärittämiset. Näistä saatiin määritettyä opasiteetit, paksuudet määritettiin pinoittauksella ja arkit punnittiin, joista saatiin laskettua neliöpaino. Tätä käytettiin vetolujuustestauksissa ja arkeille tehtiin repäisytestaus. Puristusjauhalla käsitellyn massan vaaleusarvot eivät juurikaan muuttuneet puristusjauhatuksen aikana, vaan pysyivät tasaisina.

KID-jauhetusta massasta tehdyille arkeille ja massalle tehdyistä ominaisuuksien määrittämisistä ja niistä saaduilla tuloksilla voidaan todeta, että puristusjauhatusta aiheuttaa massalle ja arkeille erilaisia ominaisuuksien muutoksia kuin teräjäjauhatusta. KID-jauhetulla massalla SR-luku ei kehittynyt yhtä voimakkaasti, kuin teräjäjauhatuksella, kun taas WRV-arvot kehittyivät puristusjauhatuksessa enemmän. Kuituanalyysissä huomattiin, että kuitujen pituus pysyi suurin piirtein samoissa arvoissa, hienoainetta ei juurikaan muodostunut eikä kuidut juurikaan kihartuneet jauhatuksen aikana.

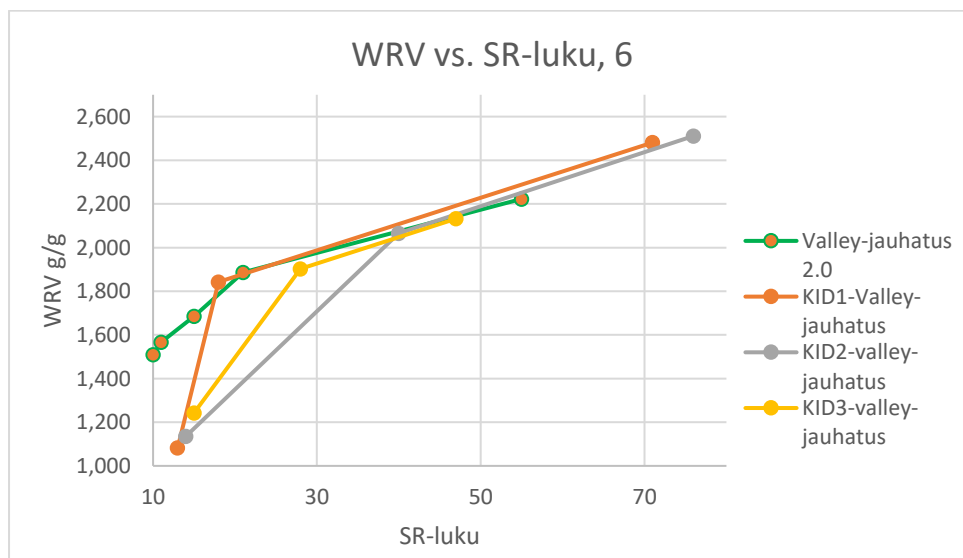
Lisäksi KID-massalla lujuusindeksi saatiin korkeammalle vähemmällä jauhatuksella. Teräjäjauhetun massan vaatiessa pitempää jauhatusaikaa päästäkseen samaan lujuusindeksiin ja samanlaista kehitystä on havaittavissa repäisyindeksissä. Pelkällä teräjäjauhetulla massalla vetoindeksi kehittyi huomattavasti korkeampaan arvoon jauhatuksen kasvaessa. KID-arkeilla oli myöskin teräjäjauhetun massan arkkeihin verrattuna pienempi bulkki. Kun niitä käsiteltiin 2-3 kertaa, ensimmäisellä KID-käsittelykerralla ei ole niin suurta vaikutusta bulkkiin. Tiheys ei kehittynyt yhtä voimakkaasti, kun verrataan KID-käsiteltyjä massoja ja arkkeja pelkkään Valley-jauhettuun massaan ja siitä tehtyihin arkkeihin.





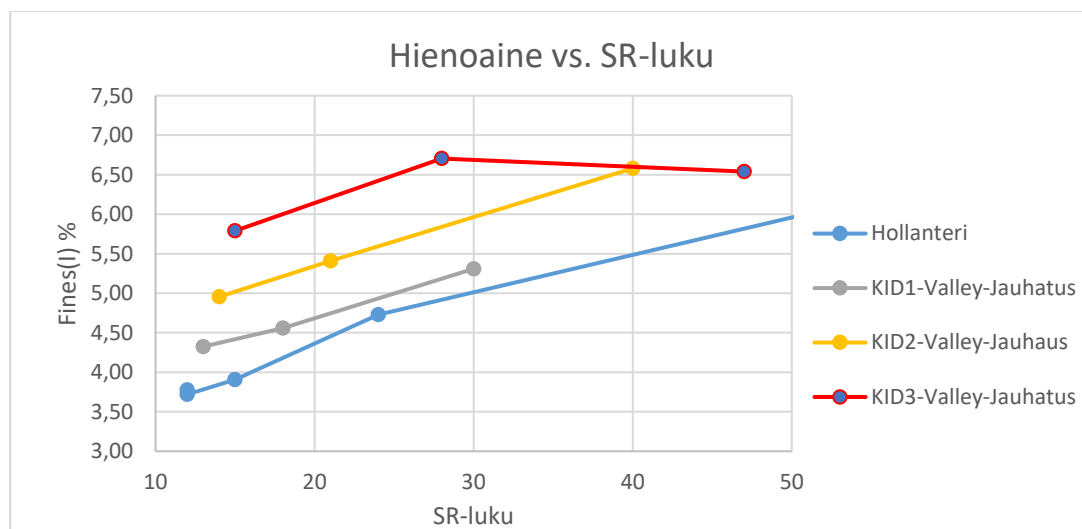
(Kuva 11. SR-luvun muutos jauhatusajan suhteen.)

KID-jauhettu massa jatko käsiteltiin tämän jälkeen Valley -jauhatuksella. Tällöin pystyttiin tutkimaan teräjauhatuksessa saatavaa hyötyä puristusjauhatuksesta ja selvittämään, kuinka kuidun ominaisuudet muuttuvat. Tästä jauhatuksesta saaduille näytteille ja niille tehdyistä määrittelyksistä voidaan todeta, että SR-luku kehittyi pelkkään Valley-jauhatukseen verrattuna nopeammin. 40 minuutin kohdalla SR-luku oli yli 70, kun taas samoihin lukuihin päästäkseen pelkällä Valley-jauhatuksella vaadittiin 90 minuutin jauhatusaikoja. Tämän epäilisin johtuvan KID:n kuiduille aiheuttamasta sisäisestä fibrillaatiosta. SR-luvun muutos on selvästi havaittavissa kuvasta 11. Näytteet otettiin 10 ja 20 minuutin kohdilla tässä jauhatuksessa ja verrattuna aiempaan hollanteri-jauhatukseen, SR-luku kehittyi huomattavasti korkeammalle lyhyemmillä jauhatusajoilla, kun massa esi-käsiteltiin KID-murskaimella.



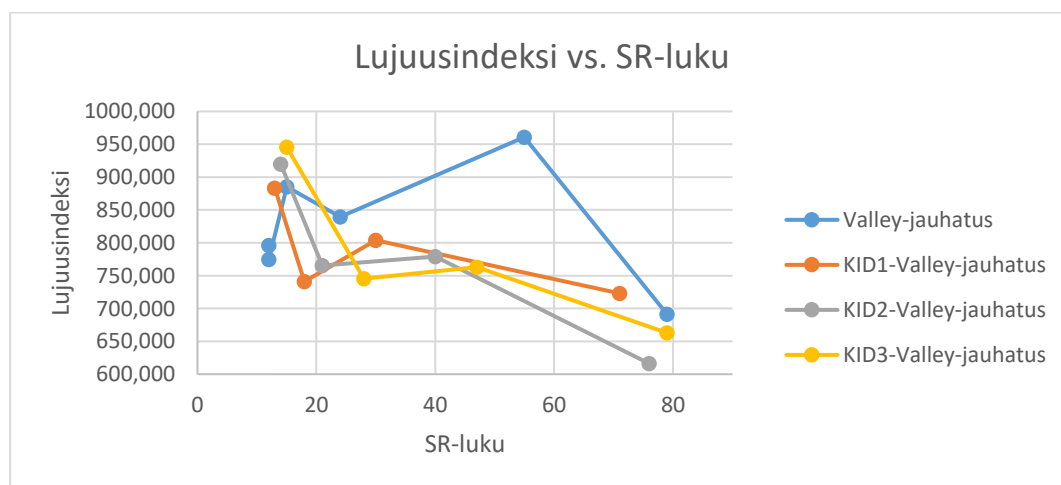
(Kuva 12. WRV:n muutos suhteessa SR-lukuun.)

Tämän jälkeen massoille tehtiin VRW-testit, joissa huomattiin, että pelkkä KID-käsittely huonontaa WRV-arvoa, mutta kun KID-massaa jatkojauhettiin Valley-jauhatuksella, arvot nousivat samoihin arvoihin kuin pelkällä Valley-jauhatuksella, kuten kuvassa 12 on havaittavissa.



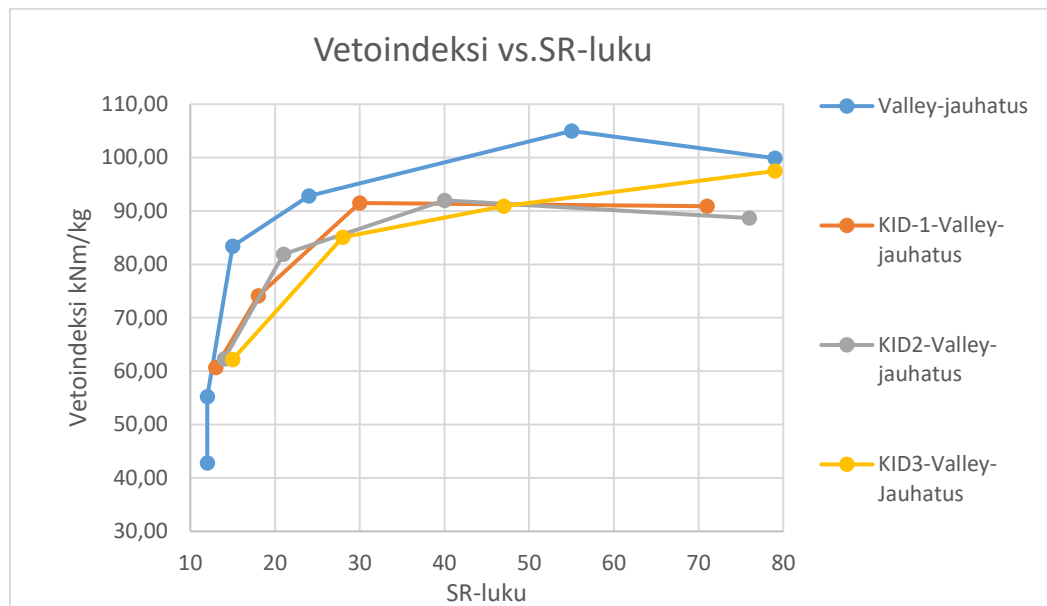
(Kuva 13. Hienoaineen muodostuminen suhteessa SR-lukuun.)

Kuituanalyysit tehtiin alkuun referenssinä olleelle Valley-jauhatuksen kaikille näytteille, KID:n jauhetulle massalle ja KID-Valley-jauhetuille 10 ja 20 minuutin näytteille, koska niiden SR-luvut olivat lähempänä niitä lukuja, joita käytännössä käytetään. Viimeiset näytteet eli 40 minuutin näytteet, joissa SR-luku oli yli 70, olivat reilusti ylijauhaantuneita. Hienoaainetta muodostuu KID-käsitellyissä huomattavasti enemmän, verrattuna pelkkään Valley-jauhatukseen, kun SR-luku kasvaa ja tämä on havaittavissa kuvasta 13.



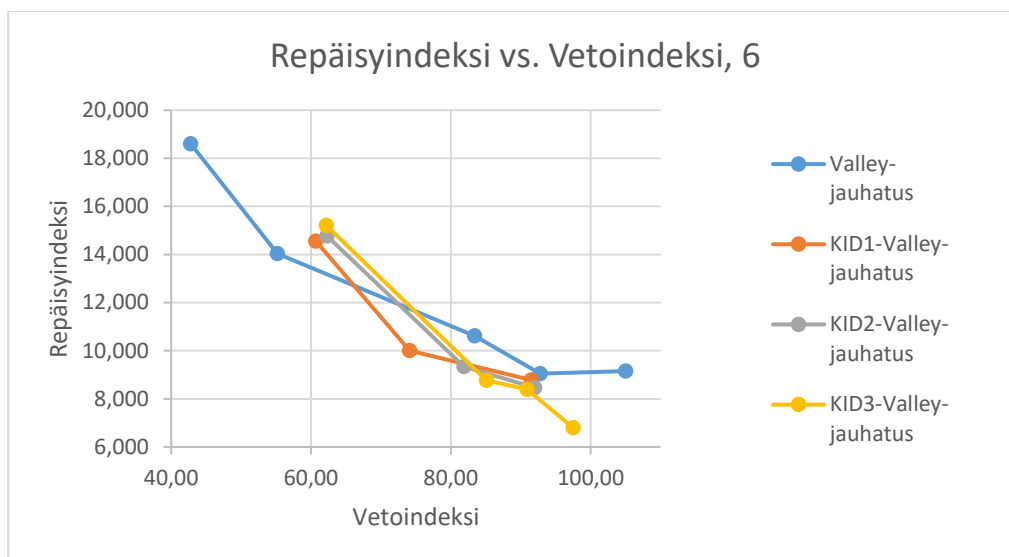
(Kuva 14. Lujuusindeksin muutos suhteessa SR-lukuun.)

Lujuusindeksi on pelkästään KID-käsitellyllä massalla korkeampi, mitä useamman kerran massa ajettiin KID-murskaimen läpi. KID-massaa jatkojauhettaessa Valley-jauhatuksella lujuusindeksin arvot alkoivat huonontua, kun SR-luku kasvaa jauhatuksen myötä. Kuitenkin lujuusindeksi on arvoiltaan tasainen ja kehitykseltään selkeästi samansuuntainen, verratessa pelkästään Valley-jauhettuun massa. Lujuusindeksin kehittyminen SR-luvun muutoksena on havaittavissa kuvasta 14.



(Kuva 15. Vetoindeksin muutos suhteessa SR-lukuun.)

Vetoindeksi kehittyi KID-jauhatuksella heikommin kuin pelkällä Valley-jauhatuksella. Vetoindeksi on kuitenkin tasainen, pysyen n. 90 kNm/kg arvon tietämillä ja kehittyi myöskin selkeästi. Valley-jauhetun vetoindeksi lähtee tippumaan SR-luvun ollessa n.55. Vetoindeksin muuttuminen on havaittavissa kuvasta 15.

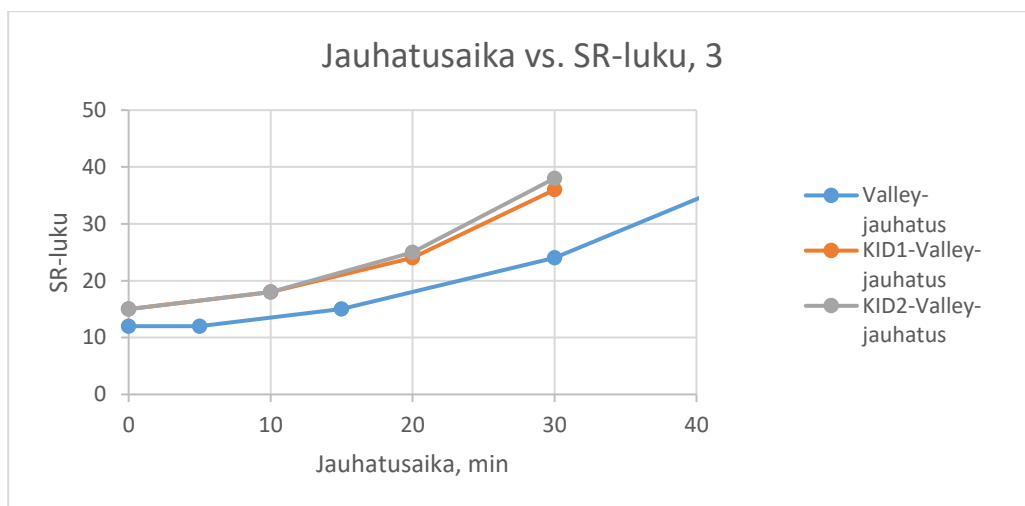


(Kuva 16. Repäisyindeksin muutos suhteessa Vetoindeksiin)

Repäisyindeksi huononi kaikissa jauhatuksissa verrattuna vetoindeksiin, Valley-jauhatuksen laskiessa tasaisesti ja KID-käsitellyillä arkeilla repäisyindeksi huononi nopeammin ja pysyen huonompana, verrattuna pelkkään Valley-jauhatukseen. Tämä on huomattavissa kuvasta 16.

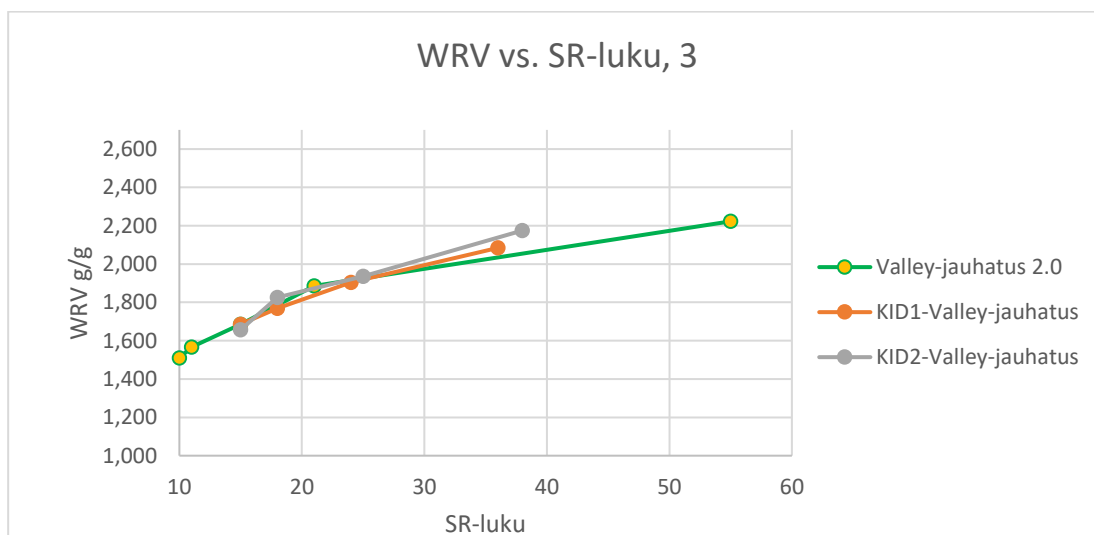
#### 4.2 KID-JAUHATUKSIEN TULOKSET – murskaimen rakoväli 3 mm

Nämä tulokset on saatu KID-jauhatuksesta, jossa murskaimen rakoväli oli säädetty 3 mm ja massa ajettiin murskaimen läpi kaksi kertaa. Muutoin menetelmä oli samanlainen kuin aiemmassa testauksessa. Täryn taajuus oli sama 50 Hz, massana oli 8 % ja sitä oli tehty koeajoa varten 50 litraa. Lisäksi tämän koeajon kaikille massoista tehdyille arkeille tehtiin lisäksi valonsironnan määrittäminen. Näiden kokeiden tulokset pysyivät samansuuntaisina verrattuna aiempiin KID-kokeisiin, kuitenkin joitain eroja on havaittavissa.



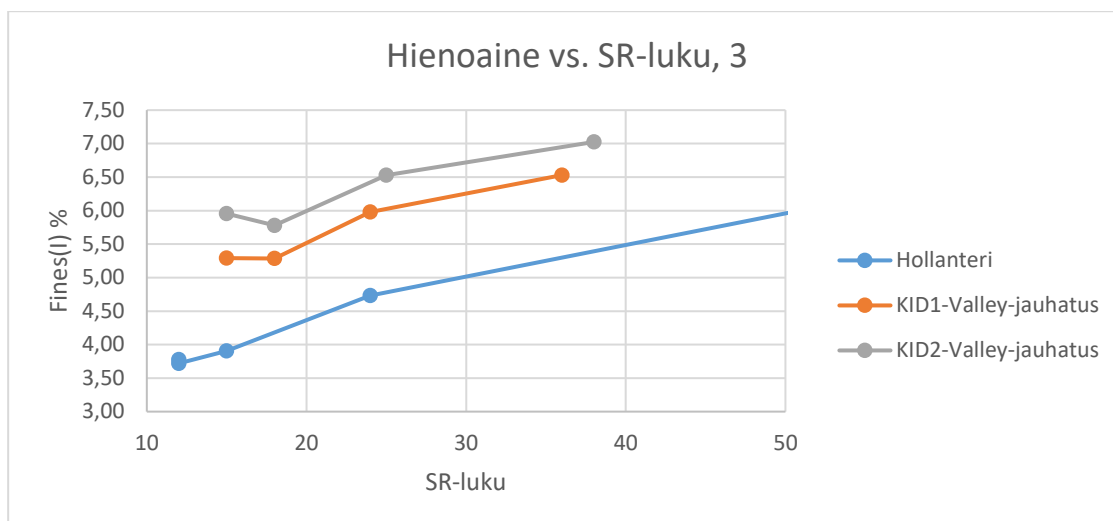
(Kuva 17. Jauhatusajan vaikutus SR-lukuun, KID-murskaimen rakovälin ollessa 3mm.)

Toisella koeajo kerralla, kun KID-murskaimen rakoväli oli pienennetty 3 mm ja massaa jauhettiin Valley-jauhaimella, huomattiin että SR-luku kehittyi myös tässä testauksessa korkeammalle, kuin pelkällä Valley-jauhatuksella samoilla jauhatusajoilla. Kuitenkaan SR-luku ei kehittynyt yhtä korkealle kuin ensimmäisellä KID-jauhatuksella, jäaden samoilla jauhatusajoilla matalammalle. SR-luvun kehitys on huomattavissa kuvasta 17.



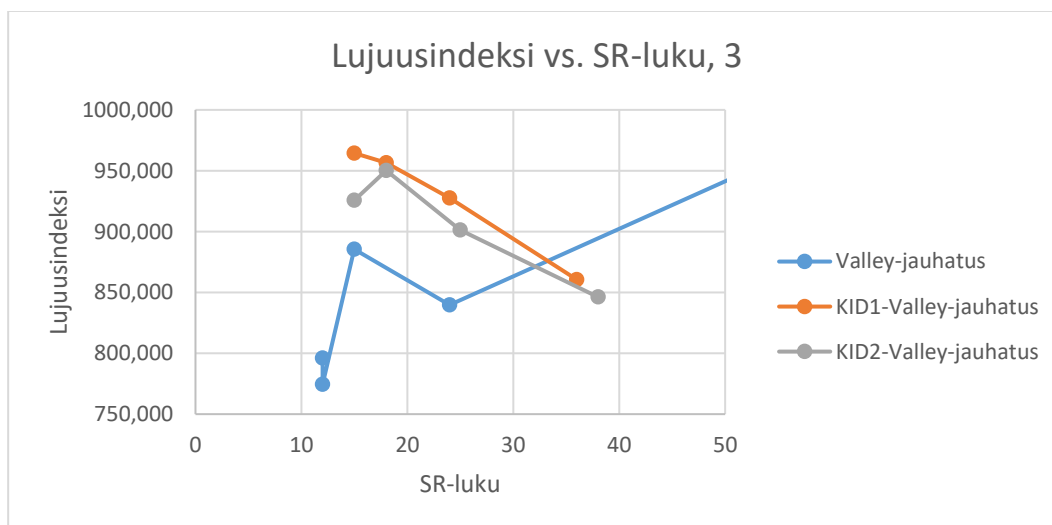
(Kuva 18. WRV:n muutos suhteessa SR-lukuun.)

Toisella jauhatuskerralla KID-käsittely ei enää huonontanut WRV-arvoa ja kun KID-massaa jatkokäsiteltiin, niin WRV-arvo ei juurikaan muuttunut Valley-jauhatuksen arvoista ja verrattuna aiempiin KID-jauhatussarjan tuloksiin, arvot pysyivät aika samoina. WRV-arvon kehitys suhteessa SR-luvun muutokseen on havaittavissa kuvasta 18.



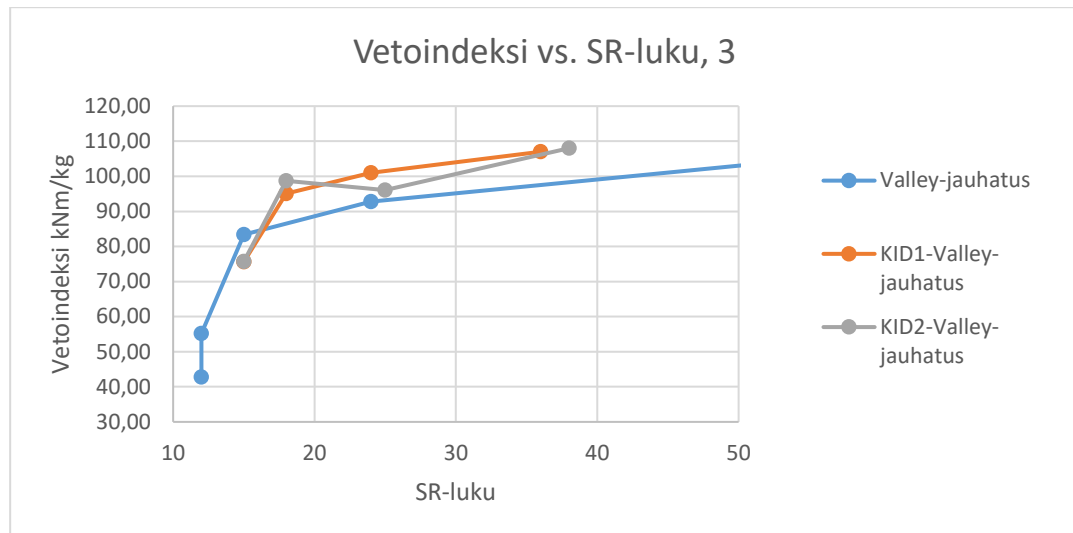
(Kuva 19. Hienoaineen muodostumien SR-luvun kasvaessa.)

Hienoainetta muodostui tässäkin jauhatussarjassa enemmän verrattuna Valley-jauhatukseen ja verrattuna aiempaan KID-jauhatussarjaan. Hienoaineen määrä pysyi samoissa lukemissa, 5 – 7 % välisellä alueella. Hienoaineen muodostumien suhteessa SR-lukuun on nähtävissä kuvasta 19.



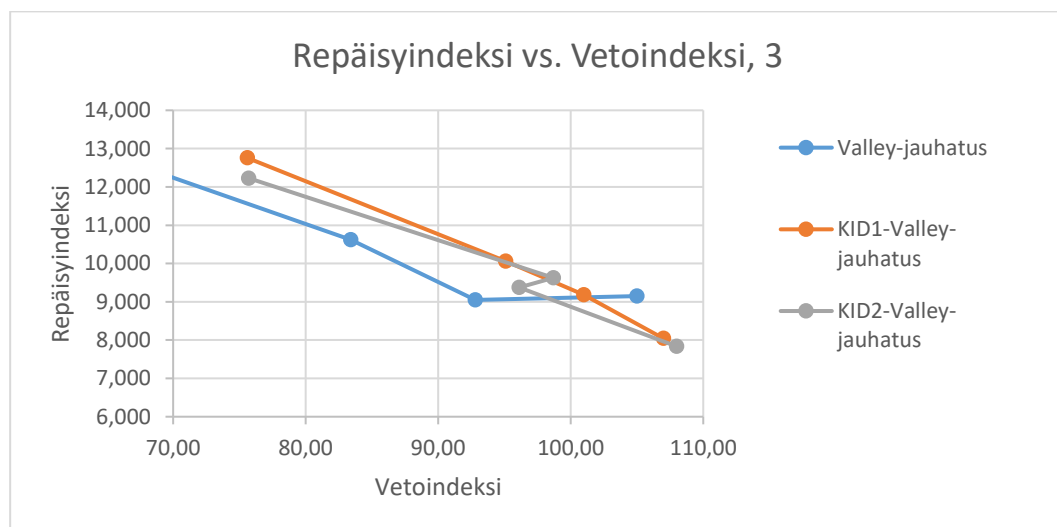
(Kuva 20. Lujuusindeksi suhteessa SR-lukuun.)

Tässä jauhatussarjassa on havaittavissa, että pelkkä KID-käsittely parantaa lujuusindeksiä verratessa Valley-jauhatukseen. Indeksillä alkaa tässäkin huonontua, kun massaa jatkokäsiteltiin Valleyllä, ei kuitenkaan niin voimakkaasti, kun verrataan aiempaan KID-jauhatussarjaan. Lujuusindeksin kehittyminen SR-luvun suhteen on nähtävissä kuvasta 20.



(Kuva 21. Vetoindeksi suhteessa SR-lukuun.)

Toisella KID-jauhatussarjalla huomattiin, että pelkällä KID-käsittelyllä vetoindeksi oli huonompi, mutta indeksi alkoi parantua, kun massa käsiteltiin Valleyllä. Vetoindeksi suhteessa SR-lukuun parani kokonaisuudessaan ja verrattessa Valley-jauhatukseen ja aiempaan KID-jauhatussarjaan, olivat tämän sarjan tulokset niiden tulosten yläpuolella ja tämä kehitys on nähtävissä kuvasta 21.



(Kuva 22. Repäisyindeksi suhteessa Vetoindeksiin.)

Tällä jauhatussarjalla huomattiin repäisyindeksin olevan parempi kuin aiemalla KID-jauhatus-sarjalla. Repäisyindeksi ei myöskään laskenut yhtä nopeasti tällä kertaa, ollen kuitenkin suurin piirtein samoissa arvoissa Valley-jauhatuksen kanssa, loppua kohden huonontuessa Valley-jauhatuksen arvojen alle. Repäisyindeksi suhteessa vetoindeksiin on nähtävissä kuvasta 22.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää KID-puristusjauhatusta ja yhdistää se levyjauhatuksen esikäsittelyksi. Lisäksi tarkoitus oli saada tutkimustuloksia siitä mitä pelkkä puristusjauhatusta tekee kuiduille ja siitä, kuinka se muuttaa paperin ominaisuuksia. Työllä saatiin lisää tuloksia KID-murskaimen vaikutuksista kuiduille ja paperin ominaisuuksille. Kun KID-käsiteltyä massaa jatkojalostettiin Valley-jauhatuksella, pystyttiin tutkimaan miten tämä sopii teräjauhatuksen esikäsittelyksi. Lisäksi työstä saaduilla tuloksilla saatiin selvitettyä, mitä kannattaa jatkossa muuttaa ja miten jatkaa testausta.

Tuloksissa on nähtävissä, että KID-jauhatusta muuttaa kuidun ominaisuuksia joissain määrittelyissä ja analyyseissä. Selkeimmin ero on nähtävissä SR-luvun kehityksessä. Referenssinä ja vertailukohtana käytettiin pelkästään Valley-laboratoriojauhatusta ja siitä saadusta massasta tehtyjen arkkien ominaisuuksien määrittelyjen ja kuitujen analyyseiden tuloksia. KID-jauhetulla massalla testatessa SR-luku kehittyi nopeammin korkeammalle lyhyemmällä jauhatusaajoilla molemmilla KID-jauhatuskertoilla. Ensimmäisellä KID-jauhatuskerralla, kun rakoväli oli 6 mm, vetoindeksi, murtovenymän arvot ja lujuusindeksi jäivät huonommaksi kuin Valley-jauhetulla massalla. Kuitenkin bulkin arvot pysyivät jonkun verran ylempänä verrattuna Valley-jauhatukseen.

Tälle massalle tehtiin myös kuituanalyysejä, joissa huomattiin, että kuitujen pituus pysyi saman verrattuna Valley-jauhatukseen. Myöskin hienoaainetta muodostui pääsääntöisesti enemmän ja kuitujen kihartumien ja kuidun kaarevuus oli voimakkaampaa, verrattuna Valley-jauhatuksen tuloksiin. Kuitujen leveydessä ei juurikaan tapahtunut muutosta, kun verrataan Valley-jauhatukseen.

Tämän jälkeen tehtiin toinen koeajo KID-murskaimella, jossa rakoväli pienennettiin 3 mm. Tämän koeajon massoille tehdyistä määrittelyistä, todettiin tulosten olevan samasuuntaiset verrattuna aiempaan KID-koeajoon. Tuloksia verrattiin lisäksi referenssinä olevaan Valley-jauhatukseen. SR-luku ei kehittynyt yhtä nopeasti kuin aiemmin, mutta kehittyi silti nopeammin korkeammalle kuin Valley-jauhatuksella. Tämän koeajon tuloksissa todettiin myös, että vetoindeksi kehittyi korkeammalle. Muutoin saadut tulokset pysyivät samankaltaisina



aiempaan verrattuna. Muutoksia oli kuitenkin myös lujuusindeksissä, ollen jonkun verran korkeammalla. Tämän koeajon bulkin arvo ei juurikaan muuttunut, pysyen Valley-jauhatuksen bulkin arvoissa.

Myöskään tälle massalle tehdystä kuituanalyysistä ei juurikaan löytynyt poikkeavuuksia verrattuna aiempiin. Kuidun pituus pysyi samoissa lukemissa, eikä arvo enää huonontunut, kuten Valley-jauhatukselle tapahtui. Hienoainetta muodostui enemmän ja kuidut kihartuivat ja kaareutuivat myöskin enemmän, pysyen kuitenkin samansuuntaisena kehitykseltään kuin Valley-jauhatuksella.

Ensimmäisellä kerralla, kun murskaimen rakoväli oli 6 mm, energiankulutus kasvoi KID-murskaimella, kun läpiajo kertoja lisättiin mutta kun murskaimen rakoväli pienennettiin 3 mm, energian kulutus ei juurikaan kasvanut enää läpiajokertojen lisääntyessä. Bruttoenergian kulutus pysyi kuitenkin korkeampana.

Jatkosuunnitelmat KID-puristusjauhatuksen suhteen, on selvittää lisää koneen muuttujien vaikutuksista kuitujen ominaisuuksiin ja sitä, päästäänkö koneen asetuksia muuttamalla vähentämään jauhatustavan aiheuttamia haittavaikutuksia kuiduille. Koneen muuttujilla tarkoitetaan rakovälin pienentämistä, sakeuden määrän muuttamista ja massan läpiajokertojen lisäämistä. Lisäksi olisi tarkoitus jatkaa tutkimusta käyttämällä sellumassassa täyteaineita ja tutkia kuinka, ne vaikuttavat massan läpikulkuun murskaimen läpi ja kuitujen ominaisuuksiin. Levyjauhaimella olisi tarkoitus saada tehtyä testiajoja KID-murskaimella käsitellyllä massalla. Tällä pyrittäisiin selvittämään, miten massa käyttäytyy tehdaskäyttöön tarkoitettulla laitteistolla, ja mitä eroavaisuuksia levyjauhaimella saadaan kuitujen ja paperin ominaisuuksiin aikaiseksi.

Näkisin tutkimuksen ja testauksien tuloksena, että työllä on jatkopotentiaalia ja tutkimusta kannattaa jatkaa. Jos pystytään tutkimaan ja selvittämään optimaalinen jauhatustapa KID-murskaimelle, voidaan saada haluttuun lopputuotteeseen sen tarvitsemia muutoksia. Optimaalista jauhatustapaa haettaessa ja murskaimen muuttujia muuttaessa joudutaan ottamaan monta asiaa huomioon. Huomioon otettavia asioita on rakoväli, massan sakeus, läpimenokerrat, täryn taajuus ja huomioimaan mahdollisten täyteaineiden vaikutukset.

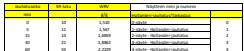
Nämä muuttujat täytyisi optimoida siten että, laitteisto oli energiankulutukselta kohtuullinen ja sopisi toiminnaltaan teollisuuskäyttöön. Murskain on rakenteeltaan vääränlainen sellun käsittelyyn, koska siinä on rungossa kumityyny. Näillä pyritään vaimentamaan kivenmurskauksessa aiheutuvia tärinöitä ja iskuja. Rakenne pitäisi muuttaa kiinteäksi, jolloin energiankulutuskin putoaisi, kun sitä ei hukata rungon heiluttamiseen. Lisäksi laitteistoon pitäisi saada rakennettua syöttölaitteisto, jotta sitä voitaisiin käyttää teollisuusympäristössä.

## LÄHTEET

1. Soininen, H., Pulkkinen, L., 2017. Metsä, Ympäristö ja Energia; Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. s.223-233 Vuosijulkaisu 2017, Verkkojulkaisu: <https://www.theseus.fi/handle/10024/139463> Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Grano Oy.
2. Turunen, J., Käyhkö, J., Kemiallisen massan jauhatus KID-tärymurskaimella. Loppuraportti Lappeenrannan Teknillinen yliopisto Kuitulaboratorio. Lappeenranta. 2009.
3. Paulapuro, H.. Papermaking Science and Technology Book 8 Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End 2. Painos. Jyväskylä: Gummerus 2008.
4. Lumiainen J. Refining of Chemical pulp, Gullichsen J. & Paulapuro H. Papermaking Part I, Stock Preparation and Wet End, Fapet Oy, Helsinki, 2000. s.87-122.
5. Knowpap, Paperiteknikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö, Jauhatu. 2015.
6. Lappalainen Jari T.J. Paperin- ja Kartonginvalmistusprosessien mallinnus ja dynaaminen reaaliaikainen simulointi, Ota-media Oy, Espoo 2004.
7. Badarudin S, Basic effect of Pulp refining on fiber properties – A review. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya. Kuala Lumpur 2014.
8. Hooimeijer A, Compression Refinig – Refining technology for higher end-product quality and higher process efficiency. Hollanti 2000.
9. Dekker, J., Bouma, H. & Hooimeijer, A, Compression Refining: The Energy Saving Breakthrough in Papermaking Technology. Helsinki. 2007.
10. Tömbloom, Malin., Jauhatuksen optimointi taivekartongin valmistuksessa. Aalto yliopisto, Kemian tekniikka. Opinnäytetyö. 2016
11. Paulapuro, H., Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Paperi ja Puu Oy 2008.
12. Waajakoski, A., Hiokerejektien käsittely MC-sakeudessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemianteknikan osasto. Puunjalostustekniikan laitos. 2003.

13. Lumiainen, J., Papermaking, Part 1, Stock Preparation and Wet end, Chapter 4, Refining of chemical pulp, s.13, 2008.
14. Seppälä, M J. Kemiallinen metsäteollisuus I, Paperimassan valmistus. Helsinki: Opetushallitus. 2005.
15. Aaltonen, P. Kuituraaka-aineen ja Paperin testausmenetelmiä. Otakustantamo Vaasa Oy 1986.
16. KID-300 Tekninen kuvaus ja käyttöohjekirja, Reserch & Engineering Corporation, "Mekhanobr-Tekhnika", ST. Petersburg 2009.

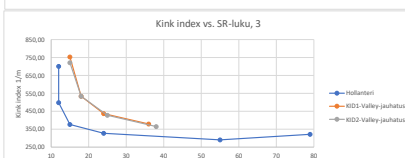
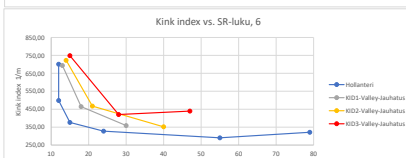
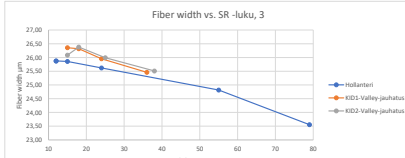
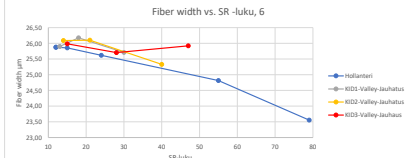
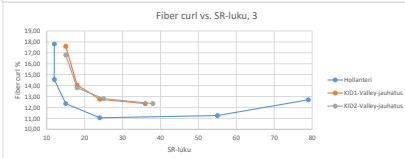
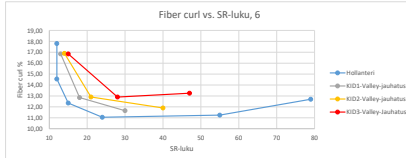
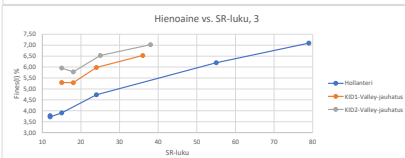
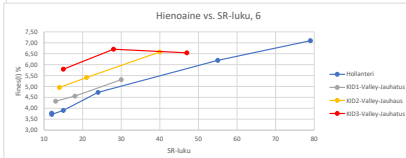
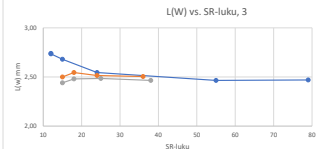
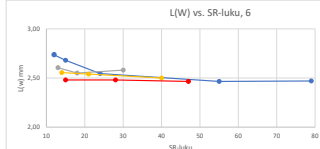
Štetna/izdatci		18. laka	19. laka	Napomena: ako je potrebno	
18. laka	19. laka	18. laka	19. laka	18. laka	19. laka
0	10	1.530	18. laka	19. laka	0
1	11	1.567	18. laka	19. laka	1
2	12	1.609	18. laka	19. laka	2
3	13	1.652	18. laka	19. laka	3
4	14	1.695	18. laka	19. laka	4
5	15	1.738	18. laka	19. laka	5
6	16	1.781	18. laka	19. laka	6
7	17	1.824	18. laka	19. laka	7
8	18	1.867	18. laka	19. laka	8
9	19	1.910	18. laka	19. laka	9
10	20	1.953	18. laka	19. laka	10
11	21	1.996	18. laka	19. laka	11
12	22	2.039	18. laka	19. laka	12
13	23	2.082	18. laka	19. laka	13
14	24	2.125	18. laka	19. laka	14
15	25	2.168	18. laka	19. laka	15
16	26	2.211	18. laka	19. laka	16
17	27	2.254	18. laka	19. laka	17
18	28	2.297	18. laka	19. laka	18
19	29	2.340	18. laka	19. laka	19
20	30	2.383	18. laka	19. laka	20
21	31	2.426	18. laka	19. laka	21
22	32	2.469	18. laka	19. laka	22
23	33	2.512	18. laka	19. laka	23
24	34	2.555	18. laka	19. laka	24
25	35	2.598	18. laka	19. laka	25
26	36	2.641	18. laka	19. laka	26
27	37	2.684	18. laka	19. laka	27
28	38	2.727	18. laka	19. laka	28
29	39	2.770	18. laka	19. laka	29
30	40	2.813	18. laka	19. laka	30
31	41	2.856	18. laka	19. laka	31
32	42	2.899	18. laka	19. laka	32
33	43	2.942	18. laka	19. laka	33
34	44	2.985	18. laka	19. laka	34
35	45	3.028	18. laka	19. laka	35
36	46	3.071	18. laka	19. laka	36
37	47	3.114	18. laka	19. laka	37
38	48	3.157	18. laka	19. laka	38
39	49	3.200	18. laka	19. laka	39
40	50	3.243	18. laka	19. laka	40
41	51	3.286	18. laka	19. laka	41
42	52	3.329	18. laka	19. laka	42
43	53	3.372	18. laka	19. laka	43
44	54	3.415	18. laka	19. laka	44
45	55	3.458	18. laka	19. laka	45
46	56	3.501	18. laka	19. laka	46
47	57	3.544	18. laka	19. laka	47
48	58	3.587	18. laka	19. laka	48
49	59	3.630	18. laka	19. laka	49
50	60	3.673	18. laka	19. laka	50
51	61	3.716	18. laka	19. laka	51
52	62	3.759	18. laka	19. laka	52
53	63	3.802	18. laka	19. laka	53
54	64	3.845	18. laka	19. laka	54
55	65	3.888	18. laka	19. laka	55
56	66	3.931	18. laka	19. laka	56
57	67	3.974	18. laka	19. laka	57
58	68	4.017	18. laka	19. laka	58
59	69	4.060	18. laka	19. laka	59
60	70	4.103	18. laka	19. laka	60
61	71	4.146	18. laka	19. laka	61
62	72	4.189	18. laka	19. laka	62
63	73	4.232	18. laka	19. laka	63
64	74	4.275	18. laka	19. laka	64
65	75	4.318	18. laka	19. laka	65
66	76	4.361	18. laka	19. laka	66
67	77	4.404	18. laka	19. laka	67
68	78	4.447	18. laka	19. laka	68
69	79	4.490	18. laka	19. laka	69
70	80	4.533	18. laka	19. laka	70
71	81	4.576	18. laka	19. laka	71
72	82	4.619	18. laka	19. laka	72
73	83	4.662	18. laka	19. laka	73
74	84	4.705	18. laka	19. laka	74
75	85	4.748	18. laka	19. laka	75
76	86	4.791	18. laka	19. laka	76
77	87	4.834	18. laka	19. laka	77
78	88	4.877	18. laka	19. laka	78
79	89	4.920	18. laka	19. laka	79
80	90	4.963	18. laka	19. laka	80
81	91	5.006	18. laka	19. laka	81
82	92	5.049	18. laka	19. laka	82
83	93	5.092	18. laka	19. laka	83
84	94	5.135	18. laka	19. laka	84
85	95	5.178	18. laka	19. laka	85
86	96	5.221	18. laka	19. laka	86
87	97	5.264	18. laka	19. laka	87
88	98	5.307	18. laka	19. laka	88
89	99	5.350	18. laka	19. laka	89
90	100	5.393	18. laka	19. laka	90
91	101	5.436	18. laka	19. laka	91
92	102	5.479	18. laka	19. laka	92
93	103	5.522	18. laka	19. laka	93
94	104	5.565	18. laka	19. laka	94
95	105	5.608	18. laka	19. laka	95
96	106	5.651	18. laka	19. laka	96
97	107	5.694	18. laka	19. laka	97
98	108	5.737	18. laka	19. laka	98
99	109	5.780	18. laka	19. laka	99
100	110	5.823	18. laka	19. laka	100
101	111	5.866	18. laka	19. laka	101
102	112	5.909	18. laka	19. laka	102
103	113	5.952	18. laka	19. laka	103
104	114	5.995	18. laka	19. laka	104
105	115	6.038	18. laka	19. laka	105
106	116	6.081	18. laka	19. laka	106
107	117	6.124	18. laka	19. laka	107
108	118	6.167	18. laka	19. laka	108
109	119	6.210	18. laka	19. laka	109
110	120	6.253	18. laka	19. laka	110
111	121	6.296	18. laka	19. laka	111
112	122	6.339	18. laka	19. laka	112
113	123	6.382	18. laka	19. laka	113
114	124	6.425	18. laka	19. laka	114
115	125	6.468	18. laka	19. laka	115
116	126	6.511	18. laka	19. laka	116
117	127	6.554	18. laka	19. laka	117
118	128	6.597	18. laka	19. laka	118
119	129	6.640	18. laka	19. laka	119
120	130	6.683	18. laka	19. laka	120
121	131	6.726	18. laka	19. laka	121
122	132	6.769	18. laka	19. laka	122
123	133	6.812	18. laka	19. laka	123
124	134	6.855	18. laka	19. laka	124
125	135	6.898	18. laka	19. laka	125
126	136	6.941	18. laka	19. laka	126
127	137	6.984	18. laka	19. laka	127
128	138	7.027	18. laka	19. laka	128
129	139	7.070	18. laka	19. laka	129
130	140	7.113	18. laka	19. laka	130
131	141	7.156	18. laka	19. laka	131
132	142	7.199	18. laka	19. laka	132
133	143	7.242	18. laka	19. laka	133
134	144	7.285	18. laka	19. laka	134
135	145	7.328	18. laka	19. laka	135
136	146	7.371	18. laka	19. laka	136
137	147	7.414	18. laka	19. laka	137
138	148	7.457	18. laka	19. laka	138
139	149	7.500	18. laka	19. laka	139
140	150	7.543	18. laka	19. laka	140
141	151	7.586	18. laka	19. laka	141
142	152	7.629	18. laka	19. laka	142
143	153	7.672	18. laka	19. laka	143
144	154	7.715	18. laka	19. laka	144
145	155	7.758	18. laka	19. laka	145
146	156	7.801	18. laka	19. laka	146
147	157	7.844	18. laka	19. laka	147
148	158	7.887	18. laka	19. laka	148
149	159	7.930	18. laka	19. laka	149
150	160	7.973	18. laka	19. laka	150
151	161	8.016	18. laka	19. laka	151
152	162	8.059	18. laka	19. laka	152
153	163	8.102	18. laka	19. laka	153
154	164	8.145	18. laka	19. laka	154
155	165	8.188	18. laka	19. laka	155
156	166	8.231	18. laka	19. laka	156
157	167	8.274	18. laka	19. laka	157
158	168	8.317	18. laka	19. laka	158
159	169	8.360	18. laka	19. laka	159
160	170	8.403	18. laka	19. laka	160
161	171	8.446	18. laka	19. laka	161
162	172	8.489	18. laka	19. laka	162
163	173	8.532	18. laka	19. laka	163
164	174	8.575	18. laka	19. laka	164
165	175	8.618	18. laka	19. laka	165
166	176	8.661	18. laka	19. laka	166
167	177	8.704	18. laka	19. laka	167
168	178	8.747	18. laka	19. laka	168
169	179	8.790	18. laka	19. laka	169
170	180	8.833	18. laka	19. laka	170
171	181	8.876	18. laka	19. laka	171
172	182	8.919	18. laka	19. laka	172
173	183	8.962	18. laka	19. laka	173
174	184	9.005	18. laka	19. laka	174
175	185	9.048	18. laka	19. laka	175
176	186	9.091	18. laka	19. laka	176
177	187	9.134	18. laka	19. laka	177
178	188	9.177	18. laka	19. laka	178
179	189	9.220	18. laka	19. laka	179
180	190	9.263	18. laka	19. laka	180
181	191	9.306	18. laka	19. laka	181
182	192	9.349	18. laka	19. laka	182
183	193	9.392	18. laka	19. laka	183
184	194	9.435	18. laka	19. laka	184
185	195	9.478	18. laka	19. laka	185
186	196	9.521	18. laka	19. laka	186
187	197	9.564	18. laka	19. laka	187
188	198	9.607	18. laka	19. laka	188
189	199	9.650	18. laka	19. laka	189
190	200	9.693	18. laka	19. laka	190
191	201	9.736	18. laka	19. laka	191
192	202	9.779	18. laka	19. laka	192
193	203	9.822	18. laka	19. laka	193
194	204	9.865	18. laka	19. laka	194
195	205	9.908	18. laka	19. laka	195
196	206	9.951	18. laka	19. laka	196
197	207	9.994	18. laka	19. laka	197
198	208	10.037	18. laka	19. laka	198
199	209	10.080	18. laka	19. laka	199
200	210	10.123	18. laka	19. laka	200
201	211	10.166	18. laka	19. laka	201
202	212	10.209	18. laka	19. laka	202
203	213	10.252	18. laka	19. laka	203
204	214	10.295	18. laka	19. laka	204
205	215	10.338	18. laka	19. laka	205
206	216	10.381	18. laka	19. laka	206
207	217	10.424	18. laka	19. laka	207
208	218	10.467	18. laka	19. laka	208
209	219	10.510	18. laka	19. laka	209
210	220	10.553	18. laka	19. laka	210
211	221	10.596	18. laka	19. laka	211
212	222	10.639	18. laka	19. laka	212
213	223	10.682	18. laka	19. laka	213
214	224	10.725	18. laka	19. laka	214
215	225	10.768	18. laka	19. laka	215
216	226	10.811			



Kulttuurianalyysi

Valtiosuojat ja KID-jauhatin massa

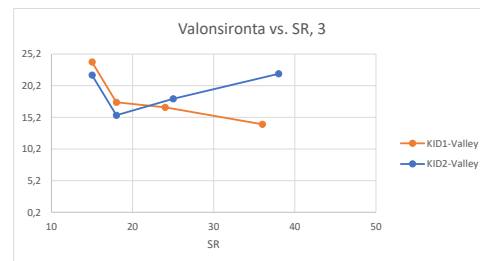
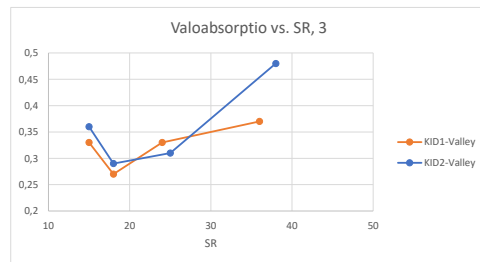
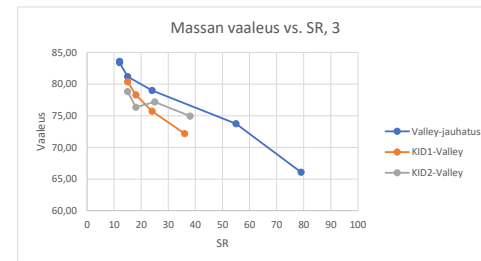
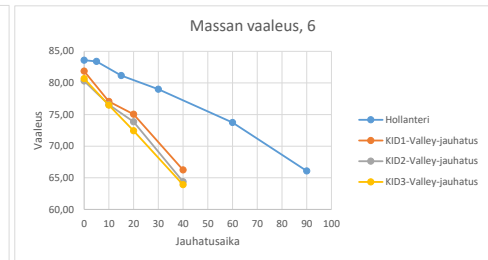
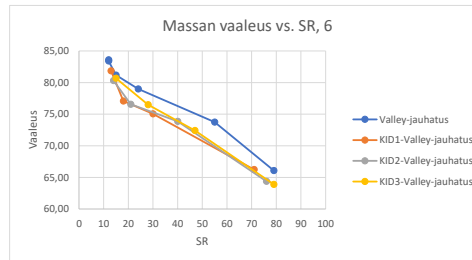
Näyte	L(w) mm			Fines (%)			Fiber curl %			Fiber Width µm			Kink index 1/m			SR-luku
	1	2	ka	1	2	ka	1	2	ka	1	2	ka	1	2	ka	
Hollanti-jauhatin																
0-näyte 0min	2,75	2,73	2,74	3,73	3,82	3,78	17,80	17,80	17,80	25,85	25,90	25,88	709,10	692,56	700,83	12
1-näyte 5 min	2,74	2,73	2,74	3,67	3,77	3,72	14,40	14,40	14,55	25,87	25,88	25,88	496,79	499,72	498,26	12
2-näyte 15min	2,68	2,68	2,68	3,94	3,87	3,91	12,20	12,50	12,35	25,88	25,83	25,86	375,75	376,97	376,36	15
3-näyte 30min	2,58	2,51	2,55	4,73	4,73	4,73	11,10	11,00	11,05	25,72	25,52	25,62	326,06	328,66	327,36	24
4-näyte 60min	2,48	2,45	2,47	6,24	6,15	6,20	11,30	11,20	11,25	24,81	24,82	24,82	291,53	289,39	290,46	55
5-näyte 90min	2,51	2,43	2,47	7,08	7,11	7,10	13,00	12,40	12,70	23,51	23,60	23,56	333,80	330,12	321,56	79
KID-jauhatin/ajautettu (keräys 3mm)																
1.jauhatuskerta	2,60	2,61	2,61	4,23	4,42	4,33	17,00	16,70	16,85	26,03	25,77	25,90	691,72	695,54	693,63	13
2.jauhatuskerta	2,58	2,53	2,56	4,77	5,14	4,96	17,20	16,60	16,90	26,22	25,96	26,09	736,86	718,63	722,75	14
3.jauhatuskerta	2,57	2,39	2,48	5,32	6,26	5,79	17,00	16,70	16,85	26,17	25,80	25,99	754,04	743,39	748,72	15
KID-massa hollantierissa (3mm)																
1.äpimeno kerta			2,61			4,33			16,85			25,90			693,63	13
1/1 jauhatusaika 10min	2,54	2,56	2,55	4,34	4,78	4,56	13,00	12,70	12,85	26,34	26,01	26,18	479,82	448,70	464,26	18
1/2 jauhatusaika 20min	2,61	2,55	2,58	5,44	5,18	5,31	11,90	11,40	11,65	25,61	25,71	25,66	356,42	361,17	358,80	30
2.äpimeno kerta			2,56			4,96			16,90			26,09			722,75	14
2/1 jauhatusaika 10min	2,55	2,53	2,54	5,40	5,42	5,41	12,90	12,90	12,90	26,05	26,15	26,10	456,31	478,72	467,52	21
2/2 jauhatusaika 20min	2,50	2,50	2,50	6,58	6,58	6,58	11,90	11,90	11,90	25,33	25,33	25,33	351,68	351,68	351,68	40
3.äpimeno kerta			2,48			5,79			16,85			25,99			748,72	15
3/1 jauhatusaika 10min	2,53	2,43	2,47	6,14	7,27	6,71	13,40	12,40	12,90	26,02	25,39	25,71	438,96	401,66	420,31	28
3/2 jauhatusaika 20min	2,51	2,42	2,47	6,10	6,98	6,54	13,50	13,00	13,25	26,09	25,75	25,92	446,09	432,42	439,36	47
KID-jauhatin/ajautettu (keräys 3mm)																
1.jauhatuskerta	2,50	2,50	2,50	5,19	5,39	5,29	17,90	17,30	17,60	26,44	26,27	26,36	769,76	735,75	752,75	15
2.jauhatuskerta	2,46	2,42	2,44	5,83	6,08	5,96	17,00	16,60	16,80	26,14	26,03	26,09	723,84	718,11	720,98	15
KID-massa hollantierissa (3mm)																
1.äpimeno kerta			2,50			5,29			17,60			26,36			752,75	15
1/1 jauhatusaika 10min	2,55	2,54	2,55	5,25	5,32	5,29	14,1	14,0	14,05	26,37	26,27	26,32	522,02	545,99	534,01	18
1/2 jauhatusaika 20min	2,47	2,56	2,52	6,02	5,94	5,98	12,9	12,6	12,75	26,00	25,91	25,96	451,26	422,12	436,69	24
1/2 jauhatusaika 30min	2,49	2,52	2,51	6,33	6,73	6,53	12,4	12,3	12,35	25,46	25,46	25,46	385,38	372,97	379,18	36
2.äpimeno kerta			2,44			5,79			16,85			25,99			720,98	15
2/1 jauhatusaika 10min	2,48	2,48	2,48	5,81	5,75	5,78	13,9	13,7	13,80	26,45	26,31	26,38	548,53	518,73	533,63	18
2/2 jauhatusaika 20min	2,52	2,45	2,49	6,52	6,54	6,53	12,8	12,8	12,80	26,02	25,96	25,99	430,32	424,88	427,60	25
2/2 jauhatusaika 30min	2,47	2,46	2,47	7,10	6,95	7,03	12,3	12,4	12,35	25,39	25,63	25,51	365,01	364,18	364,60	39
	2			2			2		ka				2		ka	
	L(w)	mm	ka	Fines (%)	%	ka	Fiber curl	%		Fiber Width µm			Kink index 1/m			SR-luku



L&W Väri ja Vaaleus		Massakakun vaaleus				Näytteen nimi ja numero	
Näyte							
Hollanteri-jauhatus	Jauhatusaika, min.	ka.	min.	max	SR-luku	Hollanteri-jauhatus	
0-näyte 0min	0	83,60	83,40	83,78	12	0-näyte	
1-näyte 5 min	5	83,41	83,23	83,63	12	1-näyte - Hollander-jauhatus	
2-näyte 15min	15	81,18	81,07	81,26	15	2-näyte - Hollander-jauhatus	
3-näyte 30min	30	79,00	78,84	79,09	24	3-näyte - Hollander-jauhatus	
4-näyte 60min	60	73,75	73,48	73,93	55	4-näyte - Hollander-jauhatus	
5-näyte 90min	90	66,08	65,68	66,32	79	5-näyte - Hollander-jauhatus	
KID-jauhatus/hajotettu (6mm)						KID-jauhatus (6mm)	
0.jauhatuskerta	0	85,05	84,96	85,10	11	Ilman jauhatusta (6 kpl pinossa)	
1.jauhatuskerta	0	81,86	81,65	82,03	13	1.jauhatuskerta (6 kpl pinossa)	
2.jauhatuskerta	0	80,31	80,25	80,36	14	2.jauhatuskerta (6 kpl pinossa)	
3.jauhatuskerta	0	80,68	80,52	80,76	15	3.jauhatuskerta (6 kpl pinossa)	
KID-massa hollanterissa						KID-massa hollanterissa	
1-läpimeno kerta	0	81,86			13	1-läpimeno kerta	
1/1 jauhatusaika 10min	10	77,07	76,86	77,18	18	1/1 jauhatusaika 10min	
1/2 jauhatusaika 20min	20	75,05	74,83	75,28	30	1/2 jauhatusaika 20min	
1/3 jauhatusaika 40min	40	66,24	66,07	66,47	71	1/3 jauhatusaika 40min	
2-läpimeno kerta	0	80,31			14	2-läpimeno kerta	
2/1 jauhatusaika 10min	10	76,57	76,49	76,64	21	2/1 jauhatusaika 10min	
2/2 jauhatusaika 20min	20	73,86	73,62	74	40	2/2 jauhatusaika 20min	
2/3 jauhatusaika 40min	40	64,38	64,1	64,57	76	2/3 jauhatusaika 40min	
3-läpimeno kerta	0	80,68			15	3-läpimeno kerta	
3/1 jauhatusaika 10min	10	76,49	76,2	76,76	28	3/1 jauhatusaika 10min	
3/2 jauhatusaika 20min	20	72,43	72,24	72,71	47	3/2 jauhatusaika 20min	
3/3 jauhatusaika 40min	40	63,9	63,61	64,38	79	3/3 jauhatusaika 40min	
Massakakun vaaleus							
KID-jauhatus 3mm	Jauhatusaika, min.	ka.	min.	max	SR-luku	KID-jauhatus 3mm	
1.jauhatuskerta	0	80,37	79,99	80,67	15	1.jauhatuskerta	
2.jauhatuskerta	0	78,82	78,56	79,13	15	2.jauhatuskerta	
KID-massa hollanterissa							
1-läpimeno kerta	0	80,37	79,99	80,67	15	1.läpimenokerta	
1/1 jauhatusaika 10min	10	78,31	78,19	78,52	18	1/1 jauhatusaika 10min	
1/2 jauhatusaika 20min	20	75,73	75,51	75,85	24	1/2 jauhatusaika 20min	
1/3 jauhatusaika 30min	30	72,19	71,59	72,48	36	1/3 jauhatusaika 30min	
2-läpimeno kerta	0	78,82	78,56	79,13	15	2.läpimenokerta	
2/1 jauhatusaika 10min	10	76,35	76,13	76,53	18	2/1 jauhatusaika 10min	
2/2 jauhatusaika 20min	20	77,19	77,04	77,39	25	2/2 jauhatusaika 20min	
2/3 jauhatusaika 30min	30	74,95	74,83	75,06	38	2/3 jauhatusaika 30min	

Valoabsorptio			
KID-jauhatus 3mm	Jauhatusaika, min.	ka.	SR-luku
1.jauhatuskerta	0	0,33	15
2.jauhatuskerta	0	0,36	15
KID-massa hollanterissa			
1-läpimeno kerta	0	0,33	15
1/1 jauhatusaika 10min	10	0,27	18
1/2 jauhatusaika 20min	20	0,33	24
1/3 jauhatusaika 30min	30	0,37	36
2-läpimeno kerta	0	0,36	15
2/1 jauhatusaika 10min	10	0,29	18
2/2 jauhatusaika 20min	20	0,31	25
2/3 jauhatusaika 30min	30	0,48	38

Valonsironta			
KID-jauhatus 3mm	Jauhatusaika, min.	ka.	SR-luku
1.jauhatuskerta	0	23,94	15
2.jauhatuskerta	0	21,88	15
KID-massa hollanterissa			
1-läpimeno kerta	0	23,94	15
1/1 jauhatusaika 10min	10	17,57	18
1/2 jauhatusaika 20min	20	16,78	24
1/3 jauhatusaika 30min	30	14,1	36
2-läpimeno kerta	0	21,88	15
2/1 jauhatusaika 10min	10	15,53	18
2/2 jauhatusaika 20min	20	18,13	25
2/3 jauhatusaika 30min	30	22,08	38



Energian kulutus

Pelkän KID-jauhatuksien energiankulutukset

Valley-Hollanterista ei ole energiankulutuksia laskettu

KID-jauhatus, 6mm

	1.Läpimenokerta	sekuntia	Tuntia
Aika	3min 6s	186	0,05
Ampeerit	17		
	22		
	19		
	18		
	19		
	19		
	20		
	20		
	21		
	20		
	19		
	20		
	19		
	17		
Ampeeria, KA.	19		
Jännite, V	400		
Joulea	1434857		
kJ/t	358714		
MJ/t	358,7		
1 kWh =	3,6 MJ		
kWh/t	99,64		
Massa	50 kg		
Abs.kuiva	0,004 kg		

99,6 kWh/t



	2.Läpimenokerta	sekuntia	Tuntia
Aika	1min 50s	110	0,03
Ampeerit	17		
	18		
	18		
	19		
	20		
	17		
	18		
	18		
	18		
	18		
	19		
	21		
	20		
Ampeeria, KA.	18,538		
Jännite, V	400		
Joulea	815692		
kJ/t	226581		
MJ/t	226,6		
1 kWh =	3,6	MJ	
kWh/t	62,94		
Massa	45	kg	
Abs.kuiva	0,0036	kg	

162,58 kWh/t

	3.Läpimenokerta	Sekuntia	Tuntia
Aika	1min 19s	79	0,02
Ampeerit	17		
	18		
	20		
	18		
	17		
	19		
	17		
	19		
	17		
	20		
	17		
	19		
Ampeeria, KA.	18,167		
Jännite, V	400		
Joulea	574066,7		
kJ/t	179395,8		
MJ/t	179,4		
1 kWh =	3,6	MJ	
kWh/t	49,83		
Massa	40	kg	
Abs.kuiva	0,0032	kg	

KID-jauhatus 3mm

	1.Läpimenokerta	sekuntia	Tuntia
Aika	5min 55s	355	0,09
Ampeerit	15		
	18		
	17		
	18		
	18		
	18		
	17		
	18		
	18		
	17		
	18		
	16		
	18		
	17		
	16		
	16		
	15		
	16		
	17		
	16		
	17		
	16		
	16		
	17		
Ampeeria, KA.	16,875		
Jännite, V	400		
Joulea	2396250		
kJ/t	599062,5		
MJ/t	599,1		
1 kWh =	3,6 MJ		
kWh/t	166,41		
Massa	50 kg		
Abs.kuiva	0,004 kg		

166,41 kWh/

	2.Läpimenokerta	sekuntia	Tuntia
Aika	2min 57s	177	0,05
Ampeerit	15		
	16		
	17		
	18		
	16		
	15		
	17		
	17		
	16		
	17		
	18		
	16		
	17		
	16		
	15		
	17		
	17		
	18		
	17		
	18		
	17		
	17		
	16		
	15		
Ampeeria, KA.	16,583		
Jännite, V	400		
Joulea	1174100		
kJ/t	326138,9		
MJ/t	326,1		
1 kWh =	3,6 MJ		
kWh/t	90,59		
Massa	45 kg		
Abs.kuiva	0,0036 kg		

257,00 kWh/t

SR-luvut  
KID 6mm

1.jauhatus	13
2.jauhatus	14
3.jauhatus	15

SR-luvut  
KID 3mm

1.jauhatus	15
2.jauhatus	15

### Energiankulutus SR-luku vs. kWh/t

